

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1999年11月 1日

出願番号

Application Number:

平成11年特許願第311204号

出願人

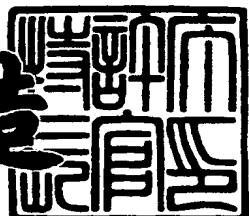
Applicant (s):

本田技研工業株式会社

2000年 7月 21日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3056848

【書類名】 特許願
【整理番号】 E98-132
【提出日】 平成11年11月 1日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 B21D 11/14
【発明の名称】 捻り加工用制御データ作成方法
【請求項の数】 9
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエンジニアリング株式会社内
【氏名】 武田 謙三
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエンジニアリング株式会社内
【氏名】 丸山 学
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエンジニアリング株式会社内
【氏名】 遠秀夫
【発明者】
【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエンジニアリング株式会社内
【氏名】 影山 善浩
【特許出願人】
【識別番号】 000005326
【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社
【代理人】
【識別番号】 100105094
【弁理士】

【氏名又は名称】 山▲崎▼ 薫

【電話番号】 03-5226-0508

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 049618

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9804619

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 捻り加工用制御データ作成方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、形状データで特定される長尺製品の軸心回り捻れ角に基づき、長尺材に加えられる捻りモーメントを算出する工程と、算出された捻りモーメントに基づき、長尺材に引き起こされる弾塑性捻れ変形量を算出する工程と、算出された弾塑性捻れ変形量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法。

【請求項2】 請求項1に記載の捻り加工用制御データ作成方法において、前記弾塑性捻れ変形量は、捻りモーメントT、剪断弾性係数Gおよび断面二次極モーメント I_p を用いて表現されることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法。

【請求項3】 請求項1または2に記載の捻り加工用制御データ作成方法において、前記捻りモーメントを算出するにあたって、前記長尺材の断面に沿って剪断歪み分布が特定されることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法。

【請求項4】 軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、形状データで特定される長尺製品の軸心回り捻れ角に基づき、長尺材に加えられる捻りモーメントを算出する工程と、算出された捻りモーメントに基づき、長尺材に引き起こされる弾塑性捻れ変形量を算出する工程と、算出された弾塑性捻れ変形量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とをコンピュータに実現させるプログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項5】 軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、少なくとも第1および第2型のいずれか一方の出口で長尺材の断

面変形に基づき引き起こされる長尺材の捻れ変化量を取得する工程と、取得された捻れ変化量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法。

【請求項6】 請求項5に記載の捻り加工用制御データ作成方法において、前記捻れ変化量は、前記長尺材の長手方向に延びる稜線の本数に基づき特定されることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法。

【請求項7】 軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、少なくとも第1および第2型のいずれか一方の出口で長尺材の断面変形に基づき引き起こされる長尺材の捻れ変化量を取得する工程と、取得された捻れ変化量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とをコンピュータに実現させるプログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項8】 軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、少なくとも第1および第2型のいずれか一方に対する長尺材のクリアランス量を取得する工程と、取得されたクリアランス量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法。

【請求項9】 軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、少なくとも第1および第2型のいずれか一方に対する長尺材のクリアランス量を取得する工程と、取得されたクリアランス量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とをコンピュータに実現させるプログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、長尺材の長手方向すなわち軸方向に間隔を置いて配置される第1および第2型の間で引き起こされる軸心回り相対回転を通じて長尺材に捻れ変形を施す捻り加工機に関し、特に、そういうた捻り加工機に用いられる制御データを生成する制御データ作成方法に関する。

【0002】

なお、本明細書中、「曲線」には、湾曲した線のみならず線分の連結によって描き出される線（例えば折れ線）が含まれるものとする。

【0003】

【従来の技術】

例えば1対の金型で真っ直ぐな金属製長尺材（例えば棒材や角材）の両端を持し、長尺材の軸心回りで金型間に相対回転を生じさせると、長尺材に捻れ変形は引き起こされる。この捻れ変形によれば、1対の金型の間で長尺材は均一な捻れ角で捻られる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

一般に、工作機の動作は例えばNC（数値制御）プログラムといった制御プログラムによって制御されることができる。1対の金型を利用して長尺材に捻れ変形を施すにあたって、制御プログラムには、所望の捻り加工を実現する金型の軸心回り回転角といった制御データが規定されなければならない。しかしながら、こういった制御データを記述することは熟練した作業者にとっても難しい。作業者の勘や経験則に基づき記述される制御データに従って製品の試作が繰り返され、試作が繰り返されるたびに制御データは書き換えられる。こうした試作が數十回と繰り返される結果、最終的に、所望どおりに捻れ変形を実現することができる制御データは確立されていく。

【0005】

特に、自動車を始めとする工業製品の分野では、均一な捻れ角で長尺材を捻る

ことによって実現されるデザインのほか、徐々に変化する捻れ角で長尺材を捻ることによって実現されるデザインが出現しつつある。これまでのところ、こうした複雑なデザインに従って長尺材に捻れ変形を引き起こすことができる捻り加工機は提案されていない。

【0006】

本発明は、上記実状に鑑みてなされたもので、熟練した作業者の勘や経験則に頼らずに長尺材の軸心回りで相対回転する1対の型を用いて設計どおりに精度よく長尺材に捻り加工を施すことができる捻り加工用制御データ作成方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、第1発明によれば、軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、形状データで特定される長尺製品の軸心回り捻れ角に基づき、長尺材に加えられる捻りモーメントを算出する工程と、算出された捻りモーメントに基づき、長尺材に引き起こされる弾塑性捻れ変形量を算出する工程と、算出された弾塑性捻れ変形量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法が提供される。

【0008】

一般に、金属材を始めとする長尺材は弾性変形を経て塑性変形に至る。第1および第2型の間で軸心回りに捻り変形が加えられても、塑性変形に至る歪みが長尺材に生じなければ、長尺材が第1および第2型の相対回転から解放されると同時に弾性復元力いわゆるスプリングバックに応じて加工後の長尺製品に形状誤差が生じてしまう。弾塑性捻れ変形量に応じて第1および第2型の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういう弾性復元力いわゆるスプリングバックに起因する長尺製品の形状誤差は十分に解消されることができる。特に、そういう弾塑性捻れ変形量は捻りモーメントに基づき幾何学的に算出されることから、実測データの収集といった手間をできる限り省くことが可能となる。

【0009】

弾塑性捻れ変形量は、例えば、捻りモーメント T 、剪断弾性係数 G および断面二次極モーメント I_p を用いて表現されればよい。捻りモーメント T や断面二次極モーメント I_p は例えば長尺製品の形状データに基づき算出されることがある。剪断弾性係数 G は例えば引っ張り試験で取得される縦弾性係数（ヤング率）やポアソン比に基づき取得されることができる。ただし、剪断弾性係数 G は材質ごとに予め既知であることが多い。したがって、捻りモーメント T や剪断弾性係数 G 、断面二次極モーメント I_p で弾塑性捻れ変形量が表現されれば、実測データの収集といった手間をできる限り省くことが可能となる。

【0010】

捻りモーメントを算出するにあたっては、前記長尺材の断面に沿って剪断歪み分布が特定されればよい。剪断歪み分布は、捻れの中心すなわち軸心からの距離に基づき幾何学的に算出されることがある。この剪断歪み分布に基づけば剪断応力分布は導き出されることができる。こうして剪断応力分布が明らかとなれば、前述の捻りモーメントは算出されることができる。

【0011】

また、第2発明によれば、軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、少なくとも第1および第2型のいずれか一方で長尺材の断面変形に基づき引き起こされる長尺材の捻れ変化量を取得する工程と、取得された捻れ変化量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法が提供される。

【0012】

特に、中空の長尺材では、第1および第2型の間で捻れ変形が引き起こされる際に、第1および第2型の出口や入り口で長尺材の断面変形すなわち凹みが生じてしまう。こうした凹みが引き起こされている間に第1および第2型との間に軸心回りの相対回転が実現されても、長尺材には十分な塑性捻れ変形は生じることはない。したがって、第1および第2型の間では形状データに基づく幾何的な位

置関係どおりに十分な捻れ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された捻れ変化量に基づき第1および第2型の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういういた断面変形に起因する長尺製品の形状誤差は十分に解消されることができる。このとき、捻れ変化量は、前記長尺材の長手方向に延びる稜線の本数に基づき特定されることができる。一般に、捻れ変形の場合には、前述のような断面変形すなわち凹みは長尺材の稜線で生成されやすい。

【0013】

さらに、第3発明によれば、軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程と、少なくとも第1および第2型のいずれか一方に対する長尺材のクリアランス量を取得する工程と、取得されたクリアランス量および軸心回り相対回転角に基づき、第1および第2型の間で軸心回り実回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする捻り加工用制御データ作成方法が提供される。

【0014】

一般に、押し出し加工で成形される形材といった長尺材の寸法精度には所定範囲の公差すなわちばらつきが許容される。こういった公差に拘わらず第1型や第2型の貫通孔に対して長尺材を確実に通過させるには、長尺材の設計寸法と貫通孔の寸法との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。たとえ公差が存在しなくとも、第1型や第2型の貫通孔に対して長尺材をスムーズに通過させるには、長尺材の外形と貫通孔の内面との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。こうしたクリアランスが解消されて第1型や第2型が完全に長尺材に接触するまで、第1および第2型の間に相対回転が実現されても長尺材には実質的に捻れ変形は生じることはない。したがって、第1および第2型の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な捻れ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出されたクリアランス量に基づき第1および第2型の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういういたクリアランスすなわちガタに起因する長尺製品の形

状誤差は十分に解消することができる。

【0015】

前述の軸心回り相対回転角を算出するにあたって、捻り加工用制御データ作成方法は、例えば、軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データを取得する工程と、形状データに基づき、軸心方向に特定される単位送り量当たりの軸心回り比捻れ角を算出する工程と、算出された軸心回り比捻れ角に基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で長尺製品の軸心回り捻れ角を算出する工程とを備えればよい。

【0016】

かかる制御データ作成方法によれば、軸心方向に沿って変動する長尺製品の捻れ角は軸心回り比捻れ角によって表現されることがある。長尺材の捻れ変形を実現する第1および第2型の間では、こうした軸心回り比捻れ角に基づき軸心回り捻れ角が特定されることがある。長尺材が第1および第2型を通過する間に、特定された軸心回り捻れ角に従って第1型や第2型の回転が制御されれば、形状データで規定される捻れ角に従って長尺材には捻れ変形が引き起こされることがある。このとき、捻れ角は徐々に増加してもよく徐々に減少してもよい。こうした形状データは例えばCAD（コンピュータ支援設計）システムから取り込まれればよい。

【0017】

以上のような捻り加工用制御データ作成方法は、コンピュータで実行されるソフトウェアプログラムとして構成されてもよい。こうしたソフトウェアプログラムは、例えばFD（フロッピーディスク）やCD（コンパクトディスク）、DVD（デジタルビデオディスク）といった可搬性の記録媒体を通じてコンピュータに取り込まれてもよく、LAN（構内通信網）やWAN（広域通信網）、インターネットといったネットワークを通じてコンピュータに取り込まれてもよい。

【0018】

なお、捻り加工を実現するにあたって、前述の弾塑性捻れ変形量、捻れ変化量およびクリアランス量は、必ずしも単独で利用される必要はなく、それらのいかなる組み合わせで利用されてもよい。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照しつつ本発明の一実施形態を説明する。

【0020】

図1は押し通し曲げ加工機の全体構成を概略的に示す。この押し通し曲げ加工機10は、長尺材11の前進移動を案内する前後1対の第1および第2型すなわち固定型12および可動型13と、固定型12および可動型13に向かって長尺材11を送り込む送り機構14とを備える。こうした押し通し曲げ加工機10では、後述されるように、長尺材11の進行方向に直交する平面内で可動型13が移動すると、長尺材11に曲げ変形（塑性変形）が引き起こされる。

【0021】

送り機構14は、例えば長尺材11の後端に接触する押し金すなわちスライダ15と、送りモータ16の回転力をスライダ15の推進力に変換するねじ軸17とを備える。送りモータ16の働きを通じてねじ軸17が順方向に回転すると、その回転に応じてスライダ15は前進し、ねじ軸17が逆方向に回転すると、スライダ15は後退することができる。スライダ15の前進は長尺材11の前進を引き起こす。スライダ15の前進量すなわち長尺材11の送り量はねじ軸17の回転量すなわち送りモータ16の回転量に応じて決定されることができる。送りモータ16にはいわゆるサーボモータが用いられればよい。

【0022】

こうした押し通し曲げ加工機10では、中実の長尺材や中空の長尺材11が加工されることができる。中空の長尺材11は、例えばアルミニウム製の押し出し材すなわち形材や鉄製のパイプ材に代表されることができる。一般に、長尺材11ではその全長にわたって共通の断面形状が規定される。ただし、断面形状は長尺材11の全長にわたって常に一定である必要は必ずしもない。

【0023】

前述の送り機構14や固定型12はいわゆる振り子部材19に支持される。振り子部材19の円柱形外周面は、図2から明らかなように、半円筒面に沿って配置される軸受け20を通じて支持台21に支持される。こうした振り子部材19

の働きによれば、長尺材11は、固定型12とともに固定型12の中心軸22回りで回転することができる。こうした回転は、後述されるように、例えば長尺材11の軸心回りで固定型12と可動型13との間に相対回転を生み出す。この相対回転は長尺材11の軸心回りで長尺材11に捻れ変形を引き起こす。振り子部材19の回転は、例えばサーボモータで構成される駆動モータ23の働きを通じて実現されればよい。

【0024】

図2に示されるように、固定型12には、長尺材11の外形を象った貫通孔24が形成される。この貫通孔24によって長尺材11の前進移動は案内される。長尺材11の断面形状は、図2に示される貫通孔24から明らかのように、円形や楕円形、三角形その他の多角形といった単純な形状であってもよいばかりでなく、その他の複雑な形状であっても差し支えない。貫通孔24の形状は長尺材11の断面形状に合わせ込まれればよい。

【0025】

図2から明らかのように、中空の長尺材11が加工される場合には、固定型12に囲まれる長尺材11の中空空間には芯金すなわち中子25が差し込まれることが望ましい。周知のように、こうした押し通し曲げ加工機10では、固定型12側貫通孔24の出口付近で最も大きな曲げ応力が長尺材11に作用する。このとき、長尺材11が中空であると、貫通孔24の縁で長尺材11の断面形状が押し潰されることがある。その結果、長尺材11に対する曲げ変形の変形量に大きな誤差が生じたり長尺材11の外周面に不要な窪みが形成されたりしてしまう。長尺材11の内側から中子25が接触すれば、こうした長尺材11の押し潰しはできる限り回避されることができる。

【0026】

図1から明らかのように、中子25には、中子25を前後移動させる制御モータ26が連結される。この制御モータ26の働きによって中子25は長尺材11に対して出し入れされる。しかも、本実施形態では、固定型12の中心軸22回りで中子25を回転させる制御モータ27が中子25に連結される。この制御モータ27は、前述のように振り子部材19の回転に伴って固定型12が中心軸2

2回りに回転すると、この回転に応じて中子25を中心軸22回りに回転させることができる。制御モータ26、27には例えばサーボモータが用いられればよい。

【0027】

図1および図3を参照し、可動型13には、固定型12と同様に、長尺材11の外形を象った貫通孔28が形成される。この貫通孔28によって長尺材11の前進移動は案内される。この貫通孔28の形状は例えば固定型12側貫通孔24の形状に一致することが望ましい。

【0028】

可動型13は、固定型12の中心軸22の延長線に直交する移動平面内で移動することができる。可動型13の移動は、例えば上下動部材29の上下動と水平動部材30の水平動との組み合わせによって実現される。上下動部材29は、上下方向すなわち垂直方向に変位自在に水平動部材30に案内される。同時に、水平動部材30は、水平方向に変位自在に案内部材31に支持される。上下動部材29の変位は例えば上下動モータ32の働きによって実現されればよく、水平動部材30の変位は例えば水平動モータ33の働きによって実現されればよい。例えば、上下動モータ32や水平動モータ33は、微小な回転角で回転軸の回転量を制御することができるサーボモータその他の駆動源から構成されればよい。

【0029】

しかも、この可動型13は、前述の移動平面でその位置を変えながらその姿勢を変化させることができる。こうした可動型13の姿勢変化は、垂直方向に延びる回転軸34が形成された回転部材35や、水平方向に延びる1対の揺動軸36が形成された揺動部材37の働きを通じて実現される。上下動部材29に形成された支持孔38に回転軸34が受け止められると、回転部材35は垂直軸回りで回転することができる。その一方で、回転部材35に形成される支持孔39に2つの揺動軸36が受け止められると、揺動部材37は水平軸回りで揺動することができる。回転部材35の回転や揺動部材37の揺動は、個々に、例えばサーボモータで構成される駆動モータ（図示せず）の働きによって実現されればよい。ここでは、揺動軸36の揺動中心は中心軸22の延長線上で回転軸34の回転中

心に直交することが望ましい。

【0030】

図4は、以上のような押し通し曲げ加工機10が組み込まれた押し通し曲げ加工システム41の全体構成を概略的に示す。この押し通し曲げ加工システム41では、押し通し曲げ加工機10の動作はNC(数値制御)コントローラ42によって制御される。この制御を実現するにあたって、NCコントローラ42は、例えば図5に示されるように押し通し曲げ加工機10に対して三次元機械座標系xyzを設定する。この機械座標系xyzは、例えば固定型12の中心軸22に重なり合うz座標軸と、貫通孔24の出口が臨む1平面上で固定型12の水平方向および垂直方向をそれぞれ規定するx座標軸およびy座標軸とを備える。中心軸22回りで特定される固定型12の姿勢すなわち軸心回り回転角は機械座標系xyzに従って指定されるz軸回り回転角Cによって特定されることができる。

【0031】

可動型13の移動平面HVは、機械座標系xyzのxy平面に平行な姿勢に保持されることが望ましい。こうした移動平面HVの設定によれば、可動型13の位置は、機械座標系xyzに従って指定されるx座標値やy座標値によって簡単に特定されることができる。このとき、可動型13のz座標値は、いわゆるアプローチ距離すなわち固定型12および可動型13間の距離に基づき特定されればよい。このアプローチ距離は可動型13の移動に拘わらず一定に保持される。

【0032】

例えば可動型13の移動平面HVと中心軸22の延長線(機械座標系xyzのz座標軸)との交点は可動型13の基準位置に設定されることがある。この基準位置に可動型13が位置決めされると、2つの貫通孔24、28を相次いで通過する長尺材11には移動平面HVに沿った可動型13の拘束力は加えられない。すなわち、真っ直ぐな長尺材11は直進し、このとき長尺材11にはいかなる曲げ変形も引き起こされない。こうして可動型13の基準位置が特定されると、可動型13の姿勢は、例えば機械座標系xyzに従って指定されるy軸(V軸)回り回転角Bやx軸(H軸)回り回転角Aによって特定されることがある。しかも、可動型13の基準位置が確立されると固定型12の中心軸22によって長

尺材11の軸心は特定される。

【0033】

再び図4を参照し、NCコントローラ42には、エンジニアリングワークステーション（EWS）やパーソナルコンピュータ（パソコン）といったコンピュータ装置43で算出されたNC加工プログラムが供給される。このNC加工プログラムには、例えば長尺材11の送り位置すなわち送り量ごとに関連付けられた可動型13の位置や姿勢、軸心回りの固定型12の姿勢といった制御データが規定される。前述の機械座標系x y zに従って可動型13のx座標値やy座標値が指定されると、NCコントローラ42は、そういったx座標値やy座標値を確立する水平動モータ33や上下動モータ32の回転量を規定する駆動指令値を押し通し曲げ加工機10に向けて出力する。機械座標系x y zに従って可動型13のy軸回り回転角Bやx軸回り回転角Aが指定されると、NCコントローラ42は、これら回転角を確立する回転部材35や揺動部材37の回転を引き起こす駆動モータの駆動指令値を押し通し曲げ加工機10に向けて出力する。さらに、機械座標系x y zに従って固定型12のz軸回り回転角Cが指定されると、NCコントローラは、このz軸回り回転角Cを確立する振り子部材19の回転を引き起こす駆動モータ23の駆動指令値を押し通し曲げ加工機10に向けて出力する。

【0034】

コンピュータ装置43には、本発明に係る押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法を実現するNC加工プログラム作成ソフトウェアが組み込まれる。このNC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば、コンピュータ支援設計（CAD）システムを実現するCADソフトウェアの1モジュール（いわゆるアドオンソフトウェア）として機能することができる。こうしてCADソフトウェアに組み入れられれば、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、制御データ作成方法を実現するにあたって、CADソフトウェアに組み込まれた既存の機能を流用することが可能となる。ただし、NC加工プログラム作成ソフトウェアはCADソフトウェアに組み入れられる必要は必ずしもなく、必要とされる全ての機能をNC加工プログラム作成ソフトウェア単独で備えていてもよい。NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えばFD（フロッピーディスク）44やCD（コンパク

トディスク) 45、DVD (デジタルビデオディスク) 、その他の可搬性記録媒体からコンピュータ装置43に取り込まれてもよく、無線や有線を問わずネットワークを通じてコンピュータ装置43に取り入れられてもよい。

【0035】

本発明に係る押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法を実現するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えばLAN (構内通信網) やWAN (広域通信網) 、インターネットといったネットワーク46を通じて長尺製品の形状データを取得する。取得した形状データを用いて、NC加工プログラム作成ソフトウェアは前述のようなNC加工プログラムを作成する。

【0036】

形状データは、例えばサーバコンピュータ47に構築される製品データベースから取り込まれればよい。製品データベースには、例えばCAD端末48上で設計された製品のCADデータが格納されればよい。こうしたCADデータは、前述と同様に、例えばFD (フロッピーディスク) やCD (コンパクトディスク) 、DVD (デジタルビデオディスク) 、その他の可搬性記録媒体から製品データベースに取り込まれてもよく、無線や有線を問わずネットワーク49を通じて製品データベースに取り入れられられてもよい。

【0037】

いま、例えば図6に示されるように、均一断面の形材に曲げ変形および捻れ変形が施されて形成される長尺製品51が設計された場面を想定する。CADシステム上で設計された長尺製品51はCADデータとして製品データベースに格納される。こうしたCADデータには、单一の全体座標系XYZに従って長尺製品51の形状を表現する形状データが少なくとも含まれる。形状データには例えばワイヤフレームモデルやサーフェスモデル、ソリッドモデルといった表現方法が用いられればよい。形状データは、少なくとも、長尺製品51の断面形状と、長尺製品51の全長にわたって長尺製品51の曲がり具合および捻れ具合とを特定すればよい。長尺製品51の曲がり具合や捻れ具合は、各断面で同一の位置を通過する2本の曲線 (例えば稜線) で表現されることができる。

【0038】

操作者は、まず、コンピュータ装置43上でNC加工プログラム作成ソフトウェアを立ち上げる。NC加工プログラム作成ソフトウェアは、操作者の入力操作に基づき製品データベースから長尺製品51の形状データを取り込む。入力操作には例えばキーボードやマウスが用いられればよい。取り込まれた形状データに基づき、コンピュータ装置43の画面上には長尺製品51の三次元像が再現されることができる。この再現にあたっては、例えばCADソフトウェアの画像処理機能が用いられてもよい。

【0039】

こうして長尺製品51の三次元形状が確認されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、固定型12の貫通孔24を通過する長尺材11の送り位置Wを決定する。送り位置Wは、例えば押し通し曲げ加工機10に長尺材11がセットされる際に確立されるスライダ15の最後退位置すなわち加工前の待機位置を基準に規定されればよい。こうした基準で送り位置Wが設定されると、スライダ15が前進して長尺材11を送り出すにつれて送り位置Wのz座標値はマイナス側に減少していく。このような送り位置Wは、後述されるように、長尺製品51の長手方向に延びる中立軸に基づき決定される。

【0040】

送り位置Wが決定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、各送り位置Wごとに、可動型13の位置や姿勢と固定型12の軸心回りの姿勢とを特定する。可動型13の位置は例えば機械座標系x y zのx座標値やy座標値に基づき規定されればよい。可動型13の姿勢は例えば機械座標系x y zのy軸回り回転角Bやx軸回り回転角Aに基づき規定されればよい。固定型12の軸心回りの姿勢は例えば機械座標系x y zのz軸回り回転角Cに基づき規定されればよい。これらのx座標値およびy座標値や、y軸回り回転角Bおよびx軸回り回転角A、z軸回り回転角Cによって制御データは作成されることができる。こうした制御データによれば、スライダ15の前進速度すなわち長尺材11の送り速度が決定されると、可動型13のx軸方向移動速度やy軸方向移動速度、y軸回り回転速度、x軸回り回転速度、固定型12のz軸回り回転速度は決定されることがで

きる。決定された速度に従って可動型13の位置や姿勢並びに固定型12の姿勢が変化する限り、各送り位置Wごとに制御データで指定される可動型13の位置や姿勢並びに固定型12および可動型13の間の相対回転は確実に確立されることができる。

【0041】

制御データにNCプログラムヘッダやNCプログラムフッタの記述が追加されると、例えば図7に示されるようにNC加工プログラムは完成する。完成したNC加工プログラムは最終的にNCコントローラ42に供給される。NCコントローラ42は、NC加工プログラムに従って押し通し曲げ加工機10を作動させる。図7に示されるNC加工プログラムに従えば、長尺材11は一定の送り速度 $F = 6000 \text{ mm/分}$ で固定型12および可動型13を通り抜ける。例えば送り位置 $W = -1424.000 \text{ mm}$ が確立されると、可動型13は、前述の基準位置すなわち移動平面HVの原点位置からx座標値 $X = 0.000 \text{ mm}$ およびy座標値 $Y = 0.446 \text{ mm}$ で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型13の姿勢は、y軸回り回転角 $B = 0.000 \text{ 度}$ およびx軸回り回転角 $A = 0.159 \text{ 度}$ で特定される。続いて長尺材11が送り位置 $W = -1504.072 \text{ mm}$ に到達すると、可動型13は、x座標値 $X = 0.000 \text{ mm}$ およびy座標値 $Y = 4.409 \text{ mm}$ で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型13の姿勢は、y軸回り回転角 $B = 0.000 \text{ 度}$ およびx軸回り回転角 $A = 3.157 \text{ 度}$ で規定される姿勢に変化する。例えば長尺材11が送り位置 $W = -1601.907 \text{ mm}$ に到達すると、可動型13は、x座標値 $X = 0.090 \text{ mm}$ およびy座標値 $Y = 8.515 \text{ mm}$ で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型13の姿勢は、y軸回り回転角 $B = -0.065 \text{ 度}$ およびx軸回り回転角 $A = 6.092 \text{ 度}$ で規定される姿勢に変化する。同時に、固定型12は、中心軸22回りで回転してz軸回り回転角 $C = 0.7091 \text{ 度}$ で規定される姿勢に変化する。こうして各送り位置Wを通過するたびに、可動型13は、x座標値Xやy座標値Yで規定される位置に移動しながら、y軸回り回転角Bやx軸回り回転角Aで規定される姿勢に変化する。同時に、固定型12と可動型13との間にはz軸回り回転角Cで規定される相対回転が確立される。隣接する送り位置W同士の間では、x座

標値Xおよびy座標値Yやy軸回り回転角Bやx軸回り回転角A、z軸回り回転角Cは例えば等速で変化すればよい。

【0042】

送り位置Wを決定するにあたって、NC加工プログラムは長尺製品51の重心線を取得する。この重心線は、長尺製品51の全長にわたって各断面で特定される重心の位置を特定する。この重心線を特定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図8および図9に示されるように、長尺製品51の断面形状52を表現する二次元データと、断面形状52の各頂点に対応する稜線を表現する三次元データとを利用する。ただし、各稜線に断面形状52の各頂点を対応させるにあたって、各頂点に形成される角取りは無視される。すなわち、稜線は、断面形状52の作図過程で利用される角取り以前の頂点によって描き出される。

【0043】

詳述すると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、二次元データで特定される断面形状52の各頂点と、三次元データで特定される稜線との対応関係を取得する。この取得には例えばGUI（グラフィックユーザインターフェース）が用いられればよい。すなわち、操作者は、図9に示されるように、コンピュータ装置43の画面上に描き出された稜線の三次元像に基づき第1および第2ガイド線53a、53bを指定するとともに、同様に図8に示されるように、画面上に描き出された断面形状52に基づき例えば第1および第2ガイド点54a、54bを指定する。ここでは、指定の順番に従って、第1ガイド線53aと第1ガイド点54aとが相互に関連付けられ、第2ガイド線53bと第2ガイド点54bとが相互に関連付けられる。こうした指定には例えばマウス操作が用いられればよい。

【0044】

こうして二次元データと三次元データとが関連付けられると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、断面に沿って2つのガイド点54a、54bと重心55との位置関係を取得する。この取得には例えばGUIが用いられればよい。すなわち、操作者は、図8に示されるように、コンピュータ装置43の画面上に描

き出される長尺製品51の断面形状52にx y座標系を重ね合わせればよい。こうしてx y座標系が設定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、x y座標系に従って第1および第2ガイド点54a、54bのx座標値およびy座標値や重心55のx座標値およびy座標値を算出する。ただし、ここでは、2つのガイド点54a、54bに対する重心55の相対的な位置関係が導き出されれば十分である。図8に示されるようにx y座標系の座標原点が重心55に重ね合わせられれば、重心55のx座標値やy座標値は算出される必要はなくなる。

【0045】

続いてNC加工プログラム作成ソフトウェアは、図10に示されるように、三次元データで規定される2つの稜線すなわち第1および第2ガイド線53a、53bに対して複数の切断平面57a～57gを規定する。こうした切断平面57a～57gの設定にあたっては、第1および第2ガイド線53a、53bは各自同数の部分線に等分割されればよい。各切断平面57a～57gは、部分線の分割点58a～58gで第1および第2ガイド線53a、53bの接線に直交する。各切断平面57a～57gでは、第1ガイド線53aと切断平面57a～57gとが交差する位置で第1ガイド点54aは特定されることができ、第2ガイド線53bと切断平面57a～57gとが交差する位置で第2ガイド点54bは特定されることができる。

【0046】

こうして各切断平面57a～57g上で第1および第2ガイド点54a、54bの位置が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、前述のように2つのガイド点54a、54bと重心55との位置関係に基づき、切断平面57a～57g上で重心55の位置を特定する。こうして算出された重心55が順番に連結されていくと、例えば図11に示されるように、重心線59は描き出されることができる。重心55同士を結ぶにあたって曲率の連続性が考慮されれば、滑らかで精度の高い重心線59が得られることができる。その他、こうして得られる重心線59の精度を高めるには、重心55同士の間隔すなわち切断平面57a～57g同士の間隔は狭められることが望ましい。重心線59は長尺製品51の曲がり具合を表現する。

【0047】

こうした重心線59は例えばベジエ曲線やBスプライン曲線、NURBS（非一様有理Bスプライン）曲線といったパラメトリック曲線で表現されることができる。こうした表現方法では、例えば図12に示されるように、曲線61の曲がり具合は複数の制御点62、63によって規定されることができる。こういった制御点62、63には、表現される曲線61上で座標値を与えるノット62が必ず含まれる。ノット62の配置は、隣接するノット62間を結ぶ直線64と、表現される曲線61との乖離すなわちトレランスTOLに基づき決定される。トレランスTOLが一定に保持される結果、曲率の大きな曲線61部分ではノット62の間隔は狭められ、反対に曲率の小さな曲線61部分ではノット62の間隔は広げられる。しかも、トレランスTOLが大きくなればノット62の間隔は広げられ、トレランスTOLが小さくなればノット62の間隔は狭められる。重心線59では、隣接するノット62の間で曲線61の長さは測定される。

【0048】

こうして重心線59に沿ってノット62の間隔が取得されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図13に示されるように、長尺製品51の三次元形状を特定する全体座標系XYZに、固定型12を基準に特定される局部座標すなわち機械座標系xyzを規定する。こうした機械座標系xyzは、前述のように重心線59上で特定されたノット62ごとに規定される断面65a～65gを基準に設定されればよい。

【0049】

各断面65a～65gを特定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図14に示されるように、各ノット62ごとに重心線59に対して接線ベクトル66を算出する。各ノット62では、この接線ベクトル66が直交する切断平面67が特定されることができる。この切断平面67に描き出される長尺製品51の断面形状によって各断面65a～65gは特定されることができる。こうしてパラメトリック曲線で表現される重心線59に従って各断面65a～65gが特定されると、長尺製品51の曲率が大きくなればなるほど断面65a～65gの枚数は増加し、きめ細かく可動型13の移動を制御することができる。

可能となる。しかも、トレランスTOLの大きさを意図的に変更すれば、長尺製品51に要求される寸法精度に応じて断面65a～65gの枚数は意図的に変更されることが可能となる。

【0050】

各切断平面67に長尺製品51の断面形状を描き出すにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、固定型12の貫通孔24と機械座標系xyzとの位置関係を取得する。この取得には例えばGUIが用いられればよい。すなわち、操作者は、例えば図15に示されるように、コンピュータ装置43の画面上に描き出された長尺製品51の断面形状に対して機械座標系xyzを位置合わせすればよい。このとき、機械座標系xyzのx座標軸やy座標軸の向きは、固定型12に形成される貫通孔24の形状すなわち中心軸22回りの向きに応じて設定される。z座標軸の向きは固定型12の中心軸22に一致する。ここで、固定型12の中心軸22は、例えば長尺製品51の断面形状で特定される重心Gに一致する。その結果、前述のように長尺製品51の曲がり具合を表現する重心線59によって長尺製品51の軸心は特定されることができる。

【0051】

各断面65a～65gごとに機械座標系xyzが設定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図16に示されるように、重心線59に基づき可動型13の位置や姿勢を特定する。この特定にあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、機械座標系xyz上で固定型12および可動型13の間のアプローチ距離Lを特定する。このアプローチ距離Lは、固定型12側貫通孔24の出口と、基準位置に位置決めされた可動型13との間で固定型12の中心軸22方向に沿って測定される。こうしたアプローチ距離Lは、例えば操作者の入力操作などを通じて予めNC加工プログラム作成ソフトウェアに取り込まれればよい。

【0052】

特定されたアプローチ距離Lに基づき機械座標系xyz上には可動型13の移動平面HVが規定される。この移動平面HVを規定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、アプローチ距離Lに基づき機械座標系xyz上の

z 座標値を規定すればよい。その結果、機械座標系 x y z の x y 平面は z 座標軸に沿ってアプローチ距離 L で平行移動させられる。こうして移動平面 HV が規定されると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、移動平面 HV と重心線 5 9 との交差点 6 8 で x 座標値や y 座標値を算出する。算出された x 座標値や y 座標値によって可動型 1 3 の幾何的位置は特定されることができる。こうして特定された可動型 1 3 の幾何的位置には、単純に、形状データで特定される長尺製品 5 1 の三次元形状が反映される。

【0053】

このように機械座標系 x y z に従って可動型 1 3 の x 座標値や y 座標値を取得するにあたっては、長尺製品 5 1 の三次元像が機械座標系 x y z の y z 平面や x z 平面に投影されればよい。例えば図 1 7 に示されるように、長尺製品 5 1 の三次元像が機械座標系 x y z の y z 平面に投影されると、投影された三次元像と移動平面 HV との交差に基づき可動型 1 3 の y 座標値は特定されることができる。このとき、移動平面 HV 上で長尺製品 5 1 の接線方向 6 9 が特定されれば、可動型 1 3 の x 軸回り回転角 A が導き出されることができる。図 1 8 に示されるように、長尺製品 5 1 の三次元像が機械座標系 x y z の x z 平面に投影されると、同様に、投影された三次元像と移動平面 HV との交差に基づき可動型 1 3 の x 座標値は特定されることができる。同時に、移動平面 HV 上で長尺製品 5 1 の接線方向 7 0 が特定されれば、可動型 1 3 の y 軸回り回転角 B が導き出されることができる。

【0054】

こうして可動型 1 3 の位置や姿勢を特定すると同時に、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、各断面 6 5 a ~ 6 5 g に設定される機械座標系 x y z に基づき固定型 1 2 の中心軸 2 2 回りの姿勢、すなわち、軸心回りで相対回転する固定型 1 2 および可動型 1 3 の相対回転角を特定する。この特定にあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、隣接する機械座標系 x y z に基づき、長尺製品 5 1 の軸心方向すなわち重心線 5 9 に沿って特定される単位送り量当たりの軸心回り比捻れ角を算出する。

【0055】

この軸心回り比捻れ角の算出にあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図19に示されるように、隣接する機械座標系x y z同士の間でx y座標平面同士を互いに重ね合わせる。この重ね合わせにあたっては、例えば行列演算などを用いて1対の機械座標系x y zの間でz座標軸の向きが揃えられればよい。こうした座標平面同士の重ね合わせにあたって、x y座標平面およびx₁ y₁座標平面では、全体座標系XYZに従ってz座標軸回りの回転角は保持される。したがって、重ね合わせられたx y座標平面およびx₁ y₁座標平面に基づけば、1対の断面65a、65b同士の間で軸心回り捻れ角θは導き出されることができる。

【0056】

こうして隣接する断面65a～65g同士の間で軸心回り捻れ角θが算出されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、前述のように断面65a～65g同士の間で測定される重心線59の長さ、すなわち、ノット62間で測定される曲線61の長さを用いて軸心回り比捻れ角ψを算出する。すなわち、軸心回り捻れ角θは重心線59の長さによって除算される。こうして算出された軸心回り比捻れ角ψは、例えば図20に示されるように、累積される重心線59の長さに対して次々とプロットされる。その結果、長尺製品51の軸心方向に沿って軸心回り比捻れ角ψの変動を示す分布曲線71は導き出される。ただし、この分布曲線71では、重心線59の長さで特定される軸心方向位置に固定型12が位置決めされた際に可動型13の位置で特定される軸心回り比捻れ角ψがプロットされる。

【0057】

続いてNC加工プログラム作成ソフトウェアは分布曲線71上で軸心回り比捻れ角ψの最大値72を検出する。この最大値72は、軸心回り比捻れ角ψ=0で始まり軸心回り比捻れ角ψ=0で終わる1捻り区間73内で検出される。最大値72が検出されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、最大値72に至る分布曲線71aを単純増加曲線に書き直すと同時に、最大値72を通過した分布曲線71bを単純減少曲線に書き直す。単純増加曲線によれば軸心回り比捻れ

角 $\phi = 0$ から最大値72までに軸心回り比捻れ角 ϕ は減少することはなく、単純減少曲線によれば最大値72から軸心回り比捻れ角 $\phi = 0$ までに軸心回り比捻れ角 ϕ は増大することはない。最大値72に至る分布曲線71aや、最大値72を通過した分布曲線71bでは、例えば図21に示されるように、極大値75とこの極大値75に隣接する極小値76とが平均化される。図21から明らかなように、平均化で描き出される直線77は、極小値76を含む分布曲線71との間に、極大値75を含む分布曲線71と直線77との間に区画される領域78と同一面積の領域79を区画する。

【0058】

こうして分布曲線71が単純増加曲線および単純減少曲線で表現されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図22に示されるように、アプローチ距離Lに基づき加工域81を描き出す。この加工域81は、軸心方向すなわち重心線59の長さ方向にアプローチ距離Lを特定する上辺82と、この上辺82の両端に接続されて、傾斜度で軸心回り比捻れ角 ϕ の許容変化率を特定する可動型側斜辺83および固定型側斜辺84とによって囲まれる。許容変化率は例えば固定型12の中心軸22回り最大回転速度に基づき決定される。

【0059】

NC加工プログラム作成ソフトウェアは、最大値72に至る分布曲線71aでは、可動型13の位置を特定する上辺82の一端を基準に加工域81を分布曲線71に沿って移動させる。移動の間に上辺82の一端以外で加工域81が分布曲線71に交差すると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、交差した領域で加工域81の外枠に沿って分布曲線71を描き直す。反対に、最大値72を通過した分布曲線71bでは、固定型12の位置を特定する上辺82の他端を基準に加工域81は分布曲線71に沿って移動させられる。移動の間に上辺82の他端以外で加工域81が分布曲線71に交差すると、同様に、交差した領域で分布曲線71は加工域81の外枠に沿って描き直される。同時に、前述の最大値72を挟む分布曲線71は、例えば図22から明らかなように、加工域81に基づき、少なくともアプローチ距離Lにわたって均一な軸心回り比捻れ角 ϕ を示す直線85に描き直される。こうした直線85によれば最大値72を挟む分布曲線71は

平均化される。

【0060】

こうして加工域81に基づき完全に分布曲線71が描き直されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、重心線59の長さに沿って各断面65a～65gごとに固定型12の中心軸22回り回転角を算出する。すなわち、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図23から明らかなように、直線85の入り口86に至る分布曲線71上で断面65a～65gごとに特定される軸心回り比捻れ角 ϕ に、可動型13および固定型12の間で測定されるアプローチ距離Lを掛け合わせる。この乗算によって固定型12の軸心回り相対回転角は導き出される。その一方で、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、直線85の入り口86を通過した分布曲線71に基づき、断面65a～65gごとにアプローチ距離Lにわたって軸心回り比捻れ角 ϕ の積分値を算出する。この積分値によって固定型12の軸心回り相対回転角は特定することができる。

【0061】

ここで、以上のような捻れ加工の原理を簡単に説明する。いま、固定型12が中心軸22回りに回転角 θ_1 で回転すると、例えば図24に示されるように、固定型12および可動型13の間では長尺材11に捻れ変形が引き起こされる。断面形状が均一であれば、固定型12および可動型13の間で長尺材11は均等に捻れる。したがって、図25に示されるように、アプローチ距離Lにわたって均一に比捻れ角 ϕ_1 は分布する。比捻れ角 ϕ は、長尺材11の軸心方向に沿った単位長さ当たりの捻れ角を意味する。

【0062】

長尺材11が微小距離D1で軸心方向に送られると、可動型13を通過した長尺材11では前述の比捻れ角 ϕ_1 は保持される。このとき、固定型12が前述の回転角 θ_1 よりも大きな回転角 θ_2 で特定される姿勢を確立すると、固定型12および可動型13の間で長尺材11は均等に捻れる結果、例えば図26に示されるように、固定型12および可動型13の間には均一に比捻れ角 ϕ_2 が分布する。この比捻れ角 ϕ_2 が保持されたまま長尺材11が再び微小距離D2で可動型13を通過すると、図27に示されるように、微小距離D1にわたって実現された

比捻れ角 ψ_1 に続き、微小距離 D_2 にわたって比捻れ角 ψ_2 は実現されることができる。

【0063】

こうして微小距離の送りと固定型12の回転とが連続的に繰り返されると、段階的に増加する比捻れ角 ψ で長尺材11には捻れ変形が実現される。例えば軸心方向に長尺材11を連続的に送りながら滑らかに固定型12の回転角を変化させれば、前述のように、徐々に増加する捻れ角で捻られた長尺製品51は得られることができる。このとき、固定型12の回転角は、可動型13の位置で特定される比捻れ角 ψ とアプローチ距離 L との乗算によって導き出されることがある。

【0064】

続いて、前述のように均一な比捻れ角 ψ_1 で長尺材11が捻られた後に固定型12に加えられる拘束力を解放し、中心軸22回りで固定型12の回転を許容しつつ長尺材11が微小距離 D_1 で送られる場面を想定する。すると、図28に示されるように、微小距離 D_1 で送られる間に固定型12を通過する長尺材11で捻れは生じない。捻れた長尺材11が可動型13を通過する結果、長尺材11には、固定型12の回転角 θ_1 とは反対向きに軸心回りの回転角 θ_3 が生じる。固定型12の回転角は $(\theta_1 - \theta_3)$ に減少する。図29に示されるように、微小距離 D_1 で送られる間に固定型12を通過する長尺材11は比捻れ角 $\psi = 0$ を維持する。

【0065】

その後、固定型12に加えられる拘束力を復帰させ中心軸22回りで固定型12を強制的に回転させると、例えば図30に示されるように、予め捻れ変形が施された領域では、加工硬化に起因して、比捻れ角 ψ_1 に達するまで捻れ変形は引き起こされない。このとき、長尺材11では、前述と同様に、微小距離 D_1 にわたって均一に捻れが生じる。その結果、微小距離 D_1 では均一な比捻れ角 ψ_4 が分布する。固定型12の回転角は、図30から明らかのように、固定型12および可動型13の間でアプローチ距離 L にわたって算出される比捻れ角 ψ の積分値によって特定されることがある。

【0066】

続いて微小距離D2で再び軸心方向に長尺材11を送り出し、前述と同様に、固定型12を通過した長尺材11で比捻れ角 $\phi=0$ を維持させる。その後、中心軸22回りで固定型12を強制的に回転させると、例えば図31に示されるように、微小距離D1にわたって実現された比捻れ角 ϕ_4 に続き、微小距離D2にわたって比捻れ角 ϕ_5 は実現されることができる。ただし、比捻れ角 ϕ_5 は、先行する比捻れ角 ϕ_4 よりも小さくなければならない。

【0067】

こうして微小距離の送りと固定型12の回転とが連続的に繰り返されると、段階的に減少する比捻れ角 ϕ で長尺材11には捻れ変形が実現される。例えば軸心方向に長尺材11を連続的に送りながら滑らかに固定型12の回転角を変化させれば、前述のように、徐々に減少する捻れ角で捻られた長尺製品51は得られることができる。

【0068】

以上のように各断面65a～65gごとに固定型12の姿勢および可動型13の位置や姿勢が特定されると、例えば図32に示されるように、隣接する断面65a、65bの間では中立軸91が描き出される。こうした中立軸91を描き出すにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、各断面65a、65bに沿って重心線59すなわち重心55から中立軸91までの乖離量 η を算出する。乖離量 η の算出工程の詳細は後述される。NC加工プログラム作成ソフトウェアは、算出された乖離量 η と重心線59とに基づき中立軸91を描き出す。

【0069】

重心線59を基準に中立軸91を描き出すにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、各断面65a、65b上で重心線59の方向ベクトルを特定する。こうした方向ベクトルは断面65a、65bに沿って乖離量 η で平行移動させられる。その結果、隣接する2枚の断面65a、65b同士の間では始点ベクトルおよび終点ベクトルが特定される。こうして特定された始点ベクトルおよび終点ベクトルの間に重心線59と同一次数のパラメトリック曲線が描き出される。パラメトリック曲線は始点ベクトルから終点ベクトルに向かって等変化率で

曲率を変化させることができる。こうしたパラメトリック曲線によって中立軸91は表現される。こうした処理が全ての断面65a～65gの間で実現されると、長尺材11の全長にわたって中立軸91は描き出されることができる。

【0070】

隣接する断面65a、65b同士の間では長尺材11の送り量は中立軸91の長さS1によって表現されることがある。こうした中立軸91の長さS1を基準に長尺材11の送り位置Wは決定される。言い換えれば、重心線59の長さを基準に特定された各断面65a～65gの位置、すなわち、重心線59に沿って特定される各ノット62の位置は中立軸91の長さS1に基づき補正される。ここでは、重心線59の長さS2に中立軸91の長さS1が代入された後、各断面65a～65gの位置が特定されればよい。

【0071】

一般に、押し通し曲げ加工機10では、例えば図33に示されるように、固定型12から送り出される長尺材11に可動型13で曲げ加工が施されると、送りの反力によって長尺材11には軸方向圧縮力Pcが加えられてしまう。こうした軸方向圧縮力Pcは長尺材11の長さに変動を引き起こす。こうした長さの変動は曲げの曲率1/Rすなわち曲率半径Rの大きさに応じて変化する。その一方で、長尺材11の曲がり具合すなわち曲率1/Rの大きさに拘わらず中立軸91では軸方向に歪みは生じない。したがって、加工前と加工後とで中立軸91の長さS1は一定に維持される。こうした中立軸91を基準に特定される各送り位置Wに可動型13のx座標値やy座標値、y軸回り回転角B、x軸回り回転角A、固定型12のz軸回り回転角Cが関連付けられると、精度の高い長尺製品51が得られることができる。

【0072】

しかも、前述のように、可動型13の幾何的位置は、押し通し曲げ加工機10の固定型12を基準に特定される機械座標系x y zすなわち局部座標系に従って決定される。局部座標系は、長尺製品51の長手方向に規定される送り位置が変化するたびに規定し直される。したがって、固定型12と可動型13との間に形成される長尺製品51の曲げ変形が必ず盛り込まれた上で可動型13のx座標値

やy座標値は特定される。

【0073】

ここで、乖離量 η の算出方法を詳述する。この乖離量 η は、以下に示されるとおり、各断面65a～65gごとに特定される長尺製品51の曲率 $1/R$ に基づき導き出されることができる。いま、例えば図33に示されるように、可動型13で長尺材11に対して曲げ加工が施されると、可動型13には曲げ変形の反力で曲率半径方向に荷重 F が作用する。このとき、固定型12側貫通孔24の出口では長尺材11内で軸方向に軸方向圧縮力 P_c が特定されると、

【数1】

$$P_c = Fz = F \tan \phi = \frac{M}{L} \tan \phi$$

が得られる。ここで、軸方向圧縮力 P_c は、固定型12側貫通孔24の出口で特定される長尺材11の公称応力分布 $\sigma(h)$ の総和に等しい。したがって、例えば固定型12側貫通孔24の出口で曲率 $1/R$ が特定されると、図34から明らかなように、

【数2】

$$P_c = \int_{h1}^{h2} \sigma(h) dA$$

は得られる。ただし、変数 h は、曲率半径方向に測定される中立軸91からの距離を示し、係数 A は、長尺製品51すなわち長尺材11の断面積を示す。このとき、曲げモーメント M は、

【数3】

$$M = \int_{h1}^{h2} \sigma(h) h dA$$

によって表現されることから、式【数1】に式【数2】および式【数3】が代入されると、

【数4】

$$\int_{h1}^{h2} \sigma(h) dA = \frac{\int_{h1}^{h2} \sigma(h) h dA}{L} \tan \phi$$

は得られる。この式【数4】が整理されると、

【数5】

$$\int_{h1}^{h2} \sigma(h) \left(1 - \frac{h}{L} \tan \phi\right) dA = 0$$

は導き出される。

【0074】

前述の曲げモーメントMを特定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、長尺製品51すなわち加工中の長尺材11の断面に沿って特定される公称応力分布 $\sigma(h)$ および公称歪み分布 $e(h)$ を利用する。図34から明らかのように、公称歪み分布 $e(h)$ は、長尺製品51すなわち長尺材11の断面上で曲率半径方向に沿って直線的に変化する。したがって、公称歪み分布 $e(h)$ は、断面上で特定される重心55および中立軸91の位置に基づき幾何学的に導き出されることができる。すなわち、曲率半径Rで重心線59が描かれ、断面上で曲率半径方向に沿って重心55から中立軸91までに乖離量 η が特定されると、公称歪み分布 $e(h)$ は、

【数6】

$$e(h) = \frac{h}{R + \eta}$$

によって表現されることができる。

【0075】

その一方で、こうして特定された公称歪み分布 $e(h)$ によれば、公称応力分布 $\sigma(h)$ は、

【数7】

$$\sigma(h) = C3 \cdot e(h)^3 + C2 \cdot e(h)^2 + C1 \cdot e(h) + C0$$

によって表現されることがある。式【数7】中、係数C3、C2、C1、C0は、例えば図35に示されるように、引っ張り試験で描き出される応力歪み曲線(S-S曲線)93に基づき決定される。すなわち、式【数7】の多項式によれば、応力歪み曲線93に対する近似曲線94は導き出される。式【数7】に示される多項式は、例えば、引っ張り試験で得られた応力歪み曲線93の最大強度点95や降伏点96、両者の中間点97といった3点によって簡単に特定されることができる。

【0076】

NC加工プログラム作成ソフトウェアは、式【数5】に従って数値積分を実施する。この数値積分の実施にあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、前述の式【数5】に、式【数6】および式【数7】で表現される曲率1/Rと乖離量ηとの関係を代入する。こうして式【数6】および式【数7】が式【数5】に代入された上で数値積分および収束計算が実施されると、特定された断面上で重心55から中立軸91までの乖離量ηは算出されることがある。

【0077】

その他、中立軸91を特定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図36に示されるように、実測データに基づき乖離量ηを導き出してもよい。この実測データによれば、

【数8】

$$\eta = \alpha H = (K1 \cdot \tan \phi) H = (K1 \cdot \tan \phi)(h2 - h1)$$

に従って乖離量ηは算出されることがある。ここで、係数αは、各断面で曲率半径方向に測定される長尺材11の高さH(=h2-h1)に対する乖離量ηの比率すなわち移動率を表す。長尺材11の高さHに移動率αが掛け合わせられると、中立軸91の乖離量ηは算出される。移動率αを特定するにあたっては、実測データに基づき算出される比例係数K1が用いられればよい。

【0078】

比例係数K1を取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材11が実際に押し通し曲げ加工機10で加工されればよい。このと

き、加工中の可動型13の傾斜角 ϕ や変形後の長尺材11の長さは実測される。こうして実測された可動型13の傾斜角 ϕ に対して中立軸91の移動率 α がプロットされると、例えば図36に示される実測データは得られることができる。ここでは、2種類のアルミニウム材（JIS6063-T1およびJIS6063-T5）に対して傾斜角 ϕ は実測された。実測にあたって、各アルミニウム材ごとに断面形状や大きさは変更された。しかも、固定型12および可動型13の間で4通りのアプローチ距離 $L = 50\text{ mm}, 60\text{ mm}, 70\text{ mm}, 90\text{ mm}$ が設定された。この実測データによれば、長尺材11の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、乖離量 η を算出するにあたって同一の係数 K_1 が用いられることがわかることが明らかとされる。

【0079】

さらに、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、様々な要因を考慮して前述の幾何的位置に修正を加え、設計どおりに精度の高い長尺製品51を生み出す可動型13の実加工位置を導き出す。こうした実加工位置を導き出すにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図37に示されるように、長尺材11の弾性曲げ復元力すなわちスプリングバックに起因する弾塑性曲げ変形量を特定する。

【0080】

図37から明らかなように、こうした弾塑性曲げ変形量を特定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、形状データで特定される加工後の長尺製品51の製品曲率 $1/R_b$ を取得する。ここで、 R_b は曲率半径を示す。この製品曲率 $1/R_b$ は、前述のように機械座標系 $x y z$ 上で特定された可動型13の幾何的位置に基づき算出されればよい。すなわち、図37で示される座標系は、機械座標系 $x y z$ の座標原点と可動型13の幾何的位置とを含む1平面に沿って規定される。ここでは、製品曲率 $1/R_b$ は、固定型12側貫通孔24の出口と可動型13との間に測定される平均曲率によって代表される。

【0081】

続いて、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、製品曲率 $1/R_b$ に基づき長尺材11に加えられる曲げモーメントを算出する。曲げモーメントには、固定

型12側貫通孔24の出口と可動型13との間で特定される曲げモーメント分布が用いられればよい。ここでは、こうした曲げモーメントに、固定型12側貫通孔24の出口から可動型13までの平均曲げモーメントが用いられる。こういった平均曲げモーメントには、例えば図37から明らかなように、固定型12側貫通孔24の出口で算出される最大曲げモーメントMの2分の1の値が用いられればよい。最大曲げモーメントMは前述の式【数3】に基づき導き出されることができる。その際、前述のように算出された乖離量 η や式【数6】および式【数7】などが参考されればよい。

【0082】

算出された最大曲げモーメントMに基づき、NC加工プログラム作成ソフトウェアは弾塑性曲げ変形量を算出する。弾塑性曲げ変形量は、例えば次式に従って算出されることができる。

【0083】

【数9】

$$\frac{1}{R_c} = \frac{M}{2EI} + \frac{1}{R_b}$$

この式【数9】によれば、弾塑性曲げ変形量は、形状データで特定される加工後の長尺製品51の製品曲率 $1/R_b$ を実現する際に必要とされる加工中の実曲率 $1/R_c$ すなわち実曲率半径 R_c によって表現される。ここで、係数Eは長尺材11のヤング率(縦弾性係数)を示し、係数Iは長尺材11の断面二次モーメントを示す。

【0084】

こういったヤング率Eや断面二次モーメントIは操作者の入力操作に基づき予めNC加工プログラム作成ソフトウェアに取り込まれていればよい。このとき、断面二次モーメントIは、前述のように長尺材11の断面形状に重ね合わせられた機械座標系x y zを基準に算出されてもよい。指定された機械座標系x y zに従ってx軸回りの断面二次モーメント I_x やy軸回りの断面二次モーメント I_y 、断面相乗モーメント J_{xy} が算出されると、次式に従って、曲げ方向を規定する従法線ベクトル b 回りで断面二次モーメント I_b は算出されることができる。

【0085】

【数10】

$$I_b = I_x \cos^2 \theta_{b-x} + I_y \sin^2 \theta_{b-x} + J_{xy} \sin 2\theta_{b-x}$$

ただし、 θ_{b-x} は、機械座標系 x y z の x 座標軸と従法線ベクトル b との間で反時計回りに特定される角度を示す。ここで、断面二次モーメント I_x 、 I_y および断面相乗モーメント J_{xy} は、

【数11】

$$I_x = \int_A x^2 dA$$

$$I_y = \int_A y^2 dA$$

$$J_{xy} = \int_A xy dA$$

によって算出されることがある。こうして算出される断面二次モーメント I_b によれば、長尺材 11 の各断面ごとに曲げ方向に応じて適切な断面二次モーメント I は特定されることがある。

【0086】

実曲率 $1/R_c$ が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、実曲率 $1/R_c$ で描き直される重心線 101 に基づき可動型 13 の実加工位置 102 を特定する。この実加工位置 102 は、機械座標系 x y z に従って x 座標値や y 座標値で表現されてもよく、重心線 59 に基づく幾何的位置 103 との差分値によって表現されてもよい。

【0087】

一般に、アルミニウム材を始めとする長尺材 11 は弾性変形を経て塑性変形に至る。可動型 13 から曲げ変形が加えられても、塑性変形に至る歪みが長尺材 11 に生じなければ、長尺材 11 が可動型 13 から解放されると同時に弾性復元力いわゆるスプリングバックに応じて加工後の長尺製品 51 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された弾塑性曲げ変形量に応じて可動型 13 の実加工位置が特定されれば、そういった弾性復元力いわゆるスプリングバックに起因す

る長尺製品51の形状誤差は十分に解消されることができる。特に、そういった弾塑性曲げ変形量は曲げモーメントMに基づき幾何学的に算出されることから、実測データの収集といった手間をできる限り省くことが可能となる。

【0088】

以上のような弾塑性曲げ変形量に加えて、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図38に示されるように、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11の出口回り折れ角量 θ を特定してもよい。こういった出口回り折れ角量 θ は、貫通孔24の出口で生じる弾性折れ変形や塑性折れ変形といった剪断変形や断面変形すなわち窪み104によって引き起こされる。出口回り折れ角量 θ が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、機械座標系x y zに従って貫通孔24の出口回りで重心線59を回転させる。重心線59は、機械座標系x y zの座標原点と可動型13の幾何的位置とを含む1平面に沿って出口回り折れ角量 θ で回転すればよい。NC加工プログラム作成ソフトウェアは、回転した重心線59と移動平面HVとの交点に基づき可動型13の実加工位置105を特定する。この実加工位置105は、機械座標系x y zに従ってx座標値やy座標値で表現されてもよく、重心線59に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

【0089】

特に、中空の長尺材11では、固定型12および可動型13の間で曲げ変形が引き起こされる際に、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11に大きな剪断力が作用する。こういった剪断力は固定型12側貫通孔24の出口で弾性折れ変形や塑性折れ変形といった剪断変形を引き起こす。しかも、固定型12側貫通孔24の出口では長尺材11に断面変形すなわち窪み104が生じてしまう。こうした窪み104によれば、固定型12側貫通孔24の出口で折れ変形は引き起こされる。これら剪断変形や断面変形に起因する折れ変形が引き起こされる結果、固定型12および可動型13の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできない。長尺材11が可動型13から解放されると同時に折れ変形に応じて加工後の長尺製品51に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された出口回り折れ角量 θ に応じて可動型13

の実加工位置105が特定されれば、そういった出口回りの折れ角に起因する長尺製品51の形状誤差は十分に解消されることができる。

【0090】

ここで、出口回り折れ角量 θ は、例えば図39に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

【数12】

$$\theta = K2 \frac{M}{EI}$$

に従って出口回り折れ角量 θ [°] は算出されることができる。ここで、係数K2は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。

【0091】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材11が実際に押し通し曲げ加工機10で加工されればよい。このとき、固定型12および可動型13の間で長尺材11の形状は実測される。こうした実測によって曲げ変形の曲率は明らかとされる。例えば図38から明らかなように、曲げ変形の曲率半径 R_d を導き出すにあたって、少なくとも3点の計測点106が選択されればよい。

【0092】

こうして固定型12および可動型13の間で長尺材11の曲げ変形を表現する曲線107が特定されると、固定型12側貫通孔24の出口で曲線107に対する接線108が描き出される。この接線108と機械座標系x y zのz座標軸との角度によって出口回り折れ角量 θ は特定されることができる。こうして実測された出口回り折れ角量 θ が係数 M/EI に対してプロットされると、図39に示される実測データは得られることができる。ここでは、3種類のアルミニウム材(JIS6063-O、JIS6063-T1およびJIS6063-T5)に対して出口回り折れ角量 θ が実測された。実測にあたって、固定型12および可動型13の間で3通りのアプローチ距離 $L = 60\text{ mm}, 90\text{ mm}, 133\text{ mm}$ が設定された。この実測データによれば、長尺材11の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、出口回り折れ角量 θ を算出するにあたって同一の係数K2が用いら

れることができることが明らかとされる。

【0093】

同様に、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図40に示されるように、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11の断面変形すなわち窪み104に起因する断面変形量d1を同時に特定してもよい。特定された断面変形量d1は、曲率半径方向すなわち曲げ方向に沿って前述の幾何的位置に加えられればよい。こうして幾何的位置に断面変形量d1が加えられると、可動型13の実加工位置は特定されることができる。この実加工位置は、前述と同様に、機械座標系x y zに従ってx座標値やy座標値で表現されてもよく、重心線59に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

【0094】

特に、中空の長尺材11では、固定型12および可動型13の間で曲げ変形が引き起こされる際に、固定型12側貫通孔24の出口で断面変形が生じてしまう。こうした断面変形には、前述の窪み104のほか、曲率半径方向に沿った断面の潰れなどが含まれる。こうした断面変形が引き起こされている間に可動型13が移動しても、長尺材11には十分な塑性曲げ変形は生じることはない。したがって、固定型12および可動型13の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品51に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された断面変形量d1に応じて可動型13の実加工位置が特定されれば、そういった断面変形に起因する長尺製品51の形状誤差は十分に解消されることができる。

【0095】

ここで、断面変形量d1は、例えば図41に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

【数13】

$$d1 = K3 \cdot F = K3 \frac{M}{L}$$

に従って断面変形量d1 [mm]は算出されることができる。ここで、係数K3は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。

【0096】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材11が実際に押し通し曲げ加工機10で加工されればよい。このとき、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11の断面形状は実測される。こうして実測された断面変形量d1が荷重Fに対してプロットされると、図41に示される実測データは得られることができる。ここでは、2種類のアルミニウム材（JIS6063-T1およびJIS6063-T5）に対して断面変形量d1は実測された。実測にあたって、固定型12および可動型13の間で3通りのアプローチ距離L=60mm、90mm、133mmが設定された。この実測データによれば、長尺材11の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、断面変形量d1を算出するにあたって同一の係数K3が用いられることが明らかとされる。

【0097】

さらに、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図42に示されるように、固定型12および可動型13に対する長尺材11のクリアランス量d2すなわちガタに起因するクリアランス量を特定してもよい。特定されたクリアランス量d2は、曲率半径方向すなわち曲げ方向に沿って前述の幾何的位置に加えられればよい。こうして幾何的位置にクリアランス量d2が加えられると、可動型13の実加工位置は特定されることができる。この実加工位置は、前述と同様に、機械座標系x y zに従ってx座標値やy座標値で表現されてもよく、重心線59に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

【0098】

クリアランス量d2 [mm]は実測値に基づき特定されればよい。実測値を取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材11が実際に押し通し曲げ加工機10で加工されればよい。このとき、可動型13が移動し始めてから、長尺材11が固定型12側貫通孔24に接触するまでに可動型13の移動距離は測定される。こうして測定された移動距離によってクリアランス量d2は特定されることができる。例えばクリアランス量d2は長尺材11の寸法公差の大きさに応じて分類されることが望ましい。すなわち、クリアランス

量 d_2 の実測に先立って長尺材 11 の外形寸法は実測される。実測された外形寸法ごとに長尺材 11 のクリアランス量 d_2 は実測される。

【0099】

一般に、長尺材 11 の寸法精度には所定範囲の公差すなわちばらつきが許容される。こういった公差に拘わらず固定型 12 や可動型 13 の貫通孔 24、28 に対して長尺材 11 を確実に通過させるには、長尺材 11 の設計寸法と貫通孔 24、28 の寸法との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。たとえ公差が存在しなくても、固定型 12 や可動型 13 の貫通孔 24、28 に対して長尺材 11 をスムーズに通過させるには、長尺材 11 の外形と貫通孔 24、28 の内面との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。こうしたクリアランスが解消されて固定型 12 や可動型 13 が完全に長尺材 11 に接触するまで、可動型 13 が移動しても長尺材 11 には実質的に曲げ変形は生じることはない。したがって、固定型 12 および可動型 13 の間では形状データに基づく幾何的位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品 51 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出されたクリアランス量 d_2 に応じて可動型 13 の実加工位置が特定されれば、そういったクリアランスすなわちガタに起因する長尺製品 51 の形状誤差は十分に解消されることができる。ただし、実加工位置を特定するにあたって使用されるクリアランス量 d_2 は、固定型 12 および可動型 13 で生じる 2 つのクリアランス量の総和を表現する必要がある。

【0100】

さらにまた、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、様々な要因を考慮して前述の軸心回り相対回転角に修正を加え、設計どおりに精度よく捻られた長尺製品 51 を生み出す固定型 12 の軸心回り実回転角を導き出す。こうした軸心回り実回転角を導き出すにあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、長尺材 11 の弾性捻れ復元力すなわちスプリングバックに起因する弾塑性捻れ変形量を特定する。

【0101】

弾塑性捻れ変形量を特定するにあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェ

アは、まず、形状データで特定される加工後の長尺製品51の軸心回り捻れ角 $\Delta\theta$ を取得する。この軸心回り捻れ角 $\Delta\theta$ には、前述のように各機械座標系x y zごとに特定された固定型12の軸心回り相対回転角が用いられればよい。続いてNC加工プログラム作成ソフトウェアは、軸心回り捻れ角 $\Delta\theta$ に基づき長尺材11に加えられる捻りモーメント（捻りトルク）Tを算出する。捻りモーメントTの算出方法の詳細は後述される。算出された捻りモーメントTに基づき、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、長尺材11に引き起こされる弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ を算出する。弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ は、例えば次式に従って算出されることができる。

【0102】

【数14】

$$\Delta\psi = \frac{T}{GI_p}$$

ここで、係数Gは長尺材11の剪断弾性係数を示し、係数 I_p は断面二次極モーメントを示す。こうして弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、前述の軸心回り相対回転角に弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ を足し合わせる。その結果、固定型12および可動型13の間で確立される軸心回り実回転角すなわちz軸回り回転角Cは導き出される。

【0103】

前述したように、アルミニウム材を始めとする長尺材11は弾性変形を経て塑性変形に至る。固定型12から捻り変形が加えられても、塑性変形に至る歪みが長尺材11に生じなければ、長尺材11が固定型12の拘束から解放されると同時に弾性復元力いわゆるスプリングバックに応じて加工後の長尺製品51に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ に応じて固定型12および可動型13の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういった弾性復元力いわゆるスプリングバックに起因する長尺製品51の形状誤差は十分に解消されることができる。特に、そういった弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ は捻りモーメントTに基づき幾何学的に算出されることから、実測データの収集といった

手間をできる限り省くことが可能となる。

【0104】

前述の捻りモーメント T を算出するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば長尺製品51すなわち加工中の長尺材11の断面に沿って剪断歪み分布 $\gamma(\rho)$ を特定する。ここで、剪断歪み分布 $\gamma(\rho)$ は、図43から明らかのように、長尺製品51すなわち長尺材11の断面上で捻れ中心すなわち固定型12の中心軸22からの距離に応じて直線的に変化することから、断面上で特定される重心55からの距離 ρ に基づき次式に従って幾何学的に導き出されることができる。

【0105】

【数15】

$$\gamma(\rho) = \rho \Delta \theta$$

こうして剪断歪み分布 $\gamma(\rho)$ が算出されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、

【数16】

$$\tau(\rho) = B3 \cdot \gamma(\rho)^3 + B2 \cdot \gamma(\rho)^2 + B1 \cdot \gamma(\rho) + B0$$

に従って剪断応力分布 $\tau(\rho)$ を算出する。ここで、係数 $B3, B2, B1, B0$ は前述の応力歪み曲線（式【数7】）に基づき決定されればよい。すなわち、周知のとおり、モール円に基づけば、歪み ε は、

【数17】

$$\varepsilon = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_y - \varepsilon_x)^2 + \gamma_{xy}^2}$$

によって表現されることができる。ここで、

【数18】

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$$

といった置き換えを実施し、前述の式【数7】に式【数17】が代入されると、

式 [数16] の係数B3、B2、B1、B0は得られることがある。

【0106】

こうして算出された剪断応力分布 $\tau(\rho)$ によれば、任意の断面の捻りモーメントTは、

【数19】

$$T = \int_x \int_y \tau(\rho) \rho dA$$

によって表現されることがある。ただし、係数Aは長尺製品51すなわち長尺材11の断面積を示す。離散化された式 [数19] に基づき数値計算が繰り返されると、捻りモーメントTは導き出されることがある。

【0107】

前述の弾塑性捻れ変形量に加えて、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図44に示されるように、固定型12側貫通孔24の出口や可動型13側貫通孔28の入り口で長尺材11に引き起こされる断面変形に起因する凹み110の断面変形量d3を同時に特定してもよい。特定された断面変形量d3に基づき、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、そういった断面変形に起因して引き起こされる長尺材11の捻れ変化量 $\Delta\omega$ を特定する。この捻れ変化量 $\Delta\omega$ が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、前述の軸心回り相対回転角に捻れ変化量 $\Delta\omega$ を足し合わせる。その結果、固定型12および可動型13の間で確立される軸心回り実回転角すなわちz軸回り回転角Cは導き出される。

【0108】

特に、中空の長尺材11では、固定型12および可動型13の間で捻れ変形が引き起こされる際に、固定型12側貫通孔24の出口や可動型13側貫通孔28の入り口では長尺材11の稜線で断面変形すなわち凹み110が生じてしまう。こうした凹み110が引き起こされている間に固定型12が中心軸22回りで回転しても、長尺材11には十分な塑性捻れ変形は生じることはない。したがって、固定型12および可動型13の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な捻れ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品51に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された捻れ変化量 $\Delta\omega$ に基づき固

定型12および可動型13の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういった断面変形に起因する長尺製品51の形状誤差は十分に解消されることができる。

【0109】

ここで、捻れ変化量 $\Delta\omega$ は、例えば図45に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

【数20】

$$\Delta\omega = K4 \frac{P}{\sigma_{0.2}}$$

に従って捻れ変化量 $\Delta\omega$ [°] は算出されることがある。ここで、係数Pは、断面に沿って長尺材11の稜線に加わる荷重を示し、係数K4は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。このとき、荷重Pは、例えば、

【数21】

$$P = \frac{T}{N}$$

に従って近似されればよい。ここで、係数Nは、断面上で特定される稜線の本数を示す。

【0110】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材11に実際に押し通し曲げ加工機10で捻れ変形が加えられればよい。このとき、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11の凹み110は実測される。こうして実測された凹み110の大きさすなわち断面変形量d3が（荷重P/0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ ）に対してプロットされると、図45に示される実測データは得られることがある。ここでは、3種類のアルミニウム材（JIS6063-O、JIS6063-T1およびJIS6063-T5）に対して断面変形量d3が実測された。この実測データによれば、断面変形量d3と（荷重P/0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ ）との間に概ね比例関係が認められる。凹み110といった断面変形に起因する微小な回転では、こうした比例関係は捻れ変化量 $\Delta\omega$ と（荷重P/0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ ）との間に適用されても差し支えない。その

結果、前述のように係数 K_4 を用いて捻れ変化量 $\Delta\omega$ は算出されることがあることとなる。しかも、長尺材 11 の材質や材料特性の違いに拘わらず、捻れ変化量 $\Delta\omega$ を算出するにあたって同一の係数 K_4 が用いられることができることが明らかとされる。ただし、係数 K_4 は長尺材 11 の断面形状に応じて変化する。

【0111】

さらに、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図4-6に示されるように、固定型 12 および可動型 13 に対する長尺材 11 のクリアランス量 d_4 すなわちガタに起因するクリアランス量を同時に特定してもよい。特定されたクリアランス量 d_4 は前述の軸心回り相対回転角に足し合わせられればよい。その結果、固定型 12 および可動型 13 の間で確立される軸心回り実回転角すなわち ω 軸回り回転角 C は導き出される。

【0112】

前述のように、長尺材 11 の寸法精度には所定範囲の公差すなわちばらつきが許容される。こういった公差に拘わらず固定型 12 や可動型 13 の貫通孔 24、28 に対して長尺材 11 を確実に通過させるには、長尺材 11 の設計寸法と貫通孔 24、28 の寸法との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。たとえ公差が存在しなくても、固定型 12 や可動型 13 の貫通孔 24、28 に対して長尺材 11 をスムーズに通過させるには、長尺材 11 の外形と貫通孔 24、28 の内面との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。こうしたクリアランスが解消されて固定型 12 や可動型 13 が完全に長尺材 11 に接触するまで、固定型 12 が中心軸 22 回りで回転しても長尺材 11 には実質的に捻れ変形は生じることはない。したがって、固定型 12 および可動型 13 の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な捻れ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品 51 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出されたクリアランス量 d_4 に基づき固定型 12 および可動型 13 の間で軸心回り実回転角が特定されれば、こういったクリアランスすなわちガタに起因する長尺製品 51 の形状誤差は十分に解消されることができる。

【0113】

ここで、クリアランス量 d_4 は、例えば図4-7に示されるように、実測データ

に基づき特定されればよい。この実測データを取得するにあたっては、長尺材1に実際に押し通し曲げ加工機10で捻れ変形が加えられればよい。このとき、z軸回り回転角Cは実測される。実測されたz軸回り回転角Cに対して捻りモーメントTがプロットされると、図47に示される実測データは得られることができる。得られた実測データに基づき捻りモーメントTの立ち上がりは描き出される。その結果、捻りモーメントT=0で特定されるz軸回り回転角Cによってガタすなわちクリアランス量d4は特定することができる。

【0114】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、熟練した作業者の勘や経験則に頼らずに長尺材の軸心回りで相対回転する1対の型を用いて設計どおりに精度よく長尺材に捻り加工を施すことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 押し通し曲げ加工機の全体構成を概略的に示す側面図である。

【図2】 固定型の拡大正面図である。

【図3】 可動型の拡大正面図である。

【図4】 押し通し曲げ加工システムの全体構成を概略的に示す模式図である。

【図5】 機械座標系の概念を示す固定型の斜視図である。

【図6】 長尺製品の構造を概略的に示す斜視図である。

【図7】 NC加工プログラムの一具体例を示す図である。

【図8】 二次元データで表現される長尺製品の断面形状を示す平面図である。

【図9】 三次元データで表現される長尺製品の稜線を示す概念図である。

【図10】 2本のガイド線に基づき特定される重心線すなわち軸心を示す概念図である。

【図11】 長尺製品の曲がり具合を表現する重心線すなわち軸心を示す概念図である。

【図12】 重心線上で特定される制御点を示す概念図である。

【図13】 長尺製品の各断面ごとに関連付けられる機械座標系を示す透視図である。

【図14】 重心線に基づき特定される長尺製品の断面を示す概念図である。

【図15】 断面に対する機械座標系の向きを設定するにあたって用いられるGUI（グラフィカルユーザインターフェース）を概略的に示す図である。

【図16】 重心線に基づき特定される可動型の位置を示す概念図である。

【図17】 $y z$ 平面に投影された長尺製品から y 座標値を算出する工程を示す概念図である。

【図18】 $x z$ 平面に投影された長尺製品から x 座標値を算出する工程を示す概念図である。

【図19】 隣接する断面同士の間で長尺製品の捻れを算出する原理を示す図である。

【図20】 長尺製品の軸心方向に沿って軸心回り比捻れ角の変動を特定する分布曲線を示すグラフである。

【図21】 単純増加曲線および単純減少曲線で描き直された分布曲線を示すグラフである。

【図22】 押し通し曲げ加工機の加工特性に応じて分布曲線を描き直す原理を示すグラフである。

【図23】 描き出された分布曲線に基づき固定型の z 軸回り回転角を算出する原理を示すグラフである。

【図24】 固定型および可動型の間で捻られる長尺材の捻れ角を示すグラフである。

【図25】 固定型および可動型の間で捻られる長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図26】 軸心方向に微小距離 D_1 で送られた後に長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図27】 軸心方向に微小距離D2で再び送られた後に長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図28】 固定型および可動型の間で捻られた後に軸心方向に微小距離D1で送られた長尺材の捻れ角を示すグラフである。

【図29】 固定型および可動型の間で捻られた後に軸心方向に微小距離D1で送られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図30】 微小距離D1で送られた後に固定型および可動型の間で捻られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図31】 再び微小距離D2で送られた後に固定型および可動型の間で捻られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図32】 隣接する断面の間で特定される重心軸および中立軸を示す長尺製品の一部拡大側面図である。

【図33】 可動型に加えられる荷重と可動型の傾斜角との関係を示す概念図である。

【図34】 長尺材の公称応力分布および公称歪み分布を示す図である。

【図35】 応力歪み曲線の近似曲線を算出する工程を示す概念図である。

【図36】 可動型の傾斜角と中立軸の移動率との関係を示すグラフである

【図37】 弹塑性曲げ変形量を算出する工程を示す概念図である。

【図38】 剪断変形および断面変形に起因する出口回り折れ角量の概念図である。

【図39】 出口回り折れ角量の実測データを示すグラフである。

【図40】 断面変形量の概念図である。

【図41】 断面変形量の実測データを示すグラフである。

【図42】 クリアランスすなわちガタの概念図である。

【図43】 長尺材の剪断応力分布および剪断歪み分布を示す図である。

【図44】 断面変形に起因する捻れ変化量の概念図である。

【図45】 断面変形量の実測データを示すグラフである。

【図46】 クリアランスすなわちガタの概念図である。

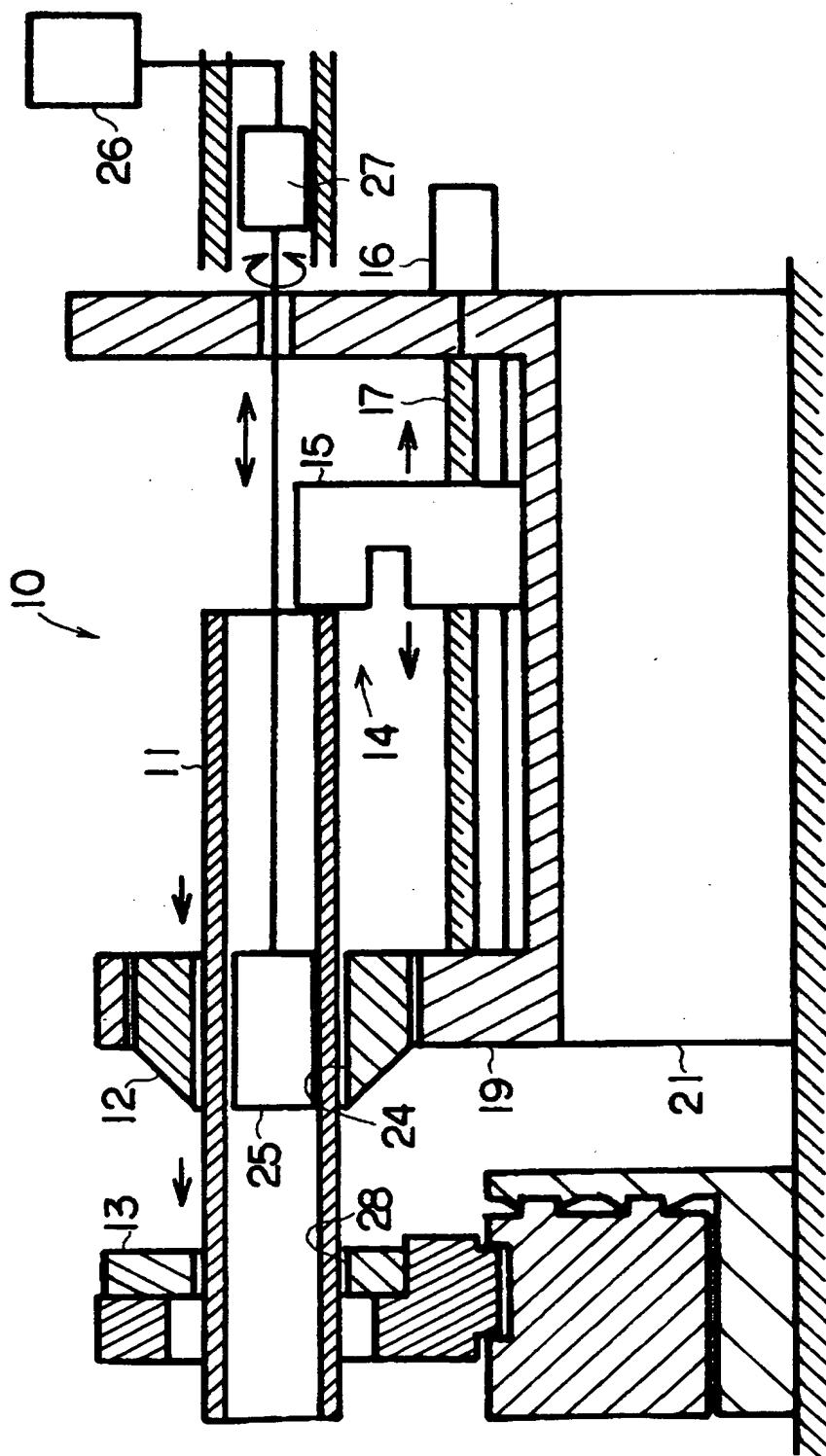
【図47】 クリアランス量の実測データを示すグラフである。

【符号の説明】

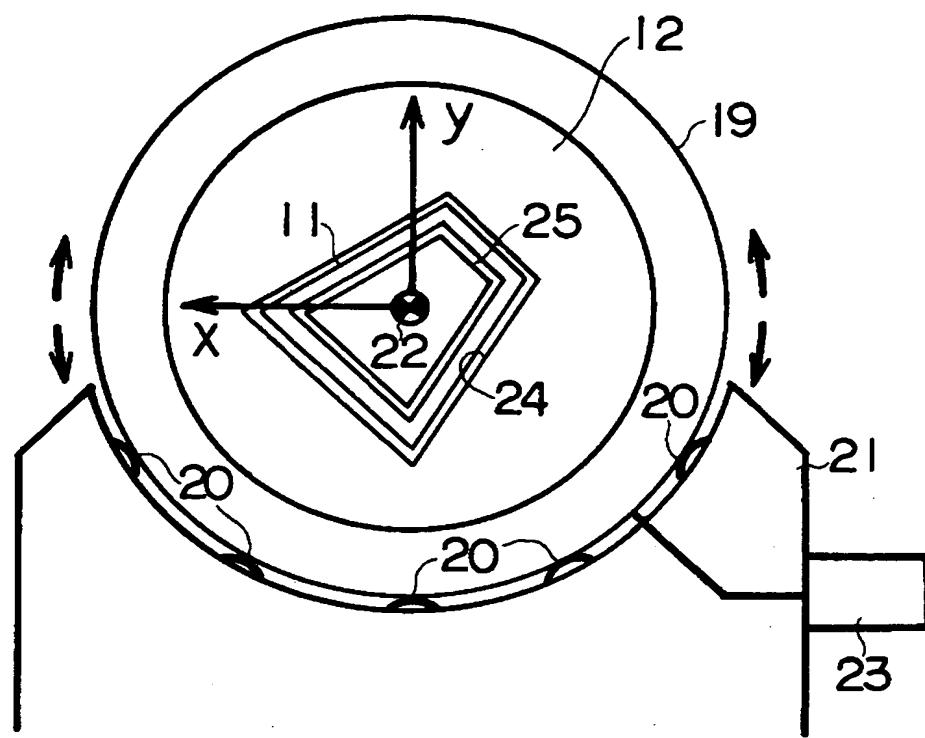
10 押し通し曲げ加工機、11 長尺材（形材）、12 第1型としての固定型、13 第2型としての可動型、22 軸心としての中心軸、43 コンピュータ装置、44 記録媒体としてのフロッピーディスク（FD）、45 記録媒体としてのコンパクトディスク（CD）、51 長尺製品、59 軸心としての重心線、d3 断面変形量、d4 クリアランス量、 $\Delta\theta$ 軸心回り捻れ角、 $\Delta\phi$ 弹塑性捻れ変形量、 $\Delta\omega$ 捻れ変化量。

【書類名】 図面

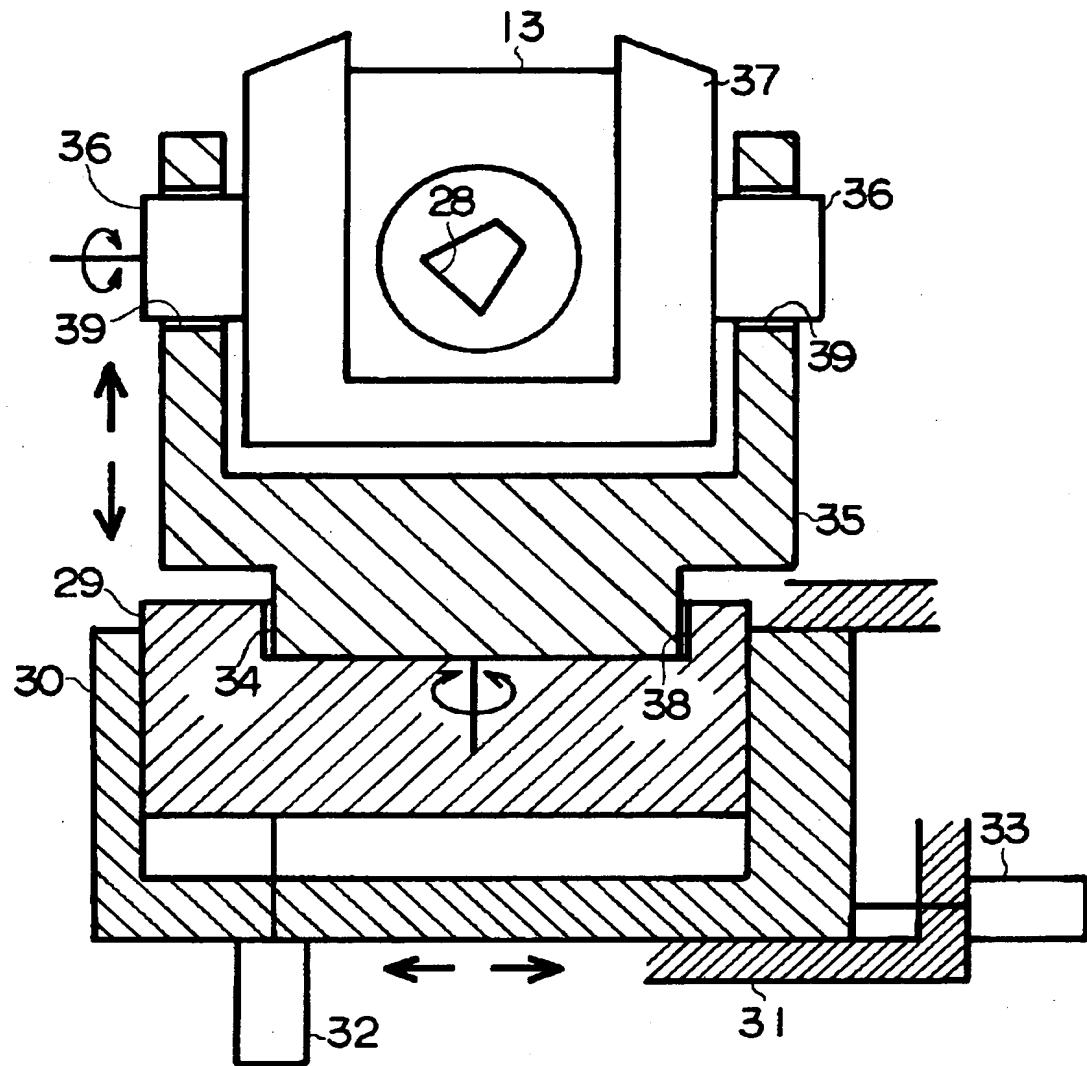
【図1】



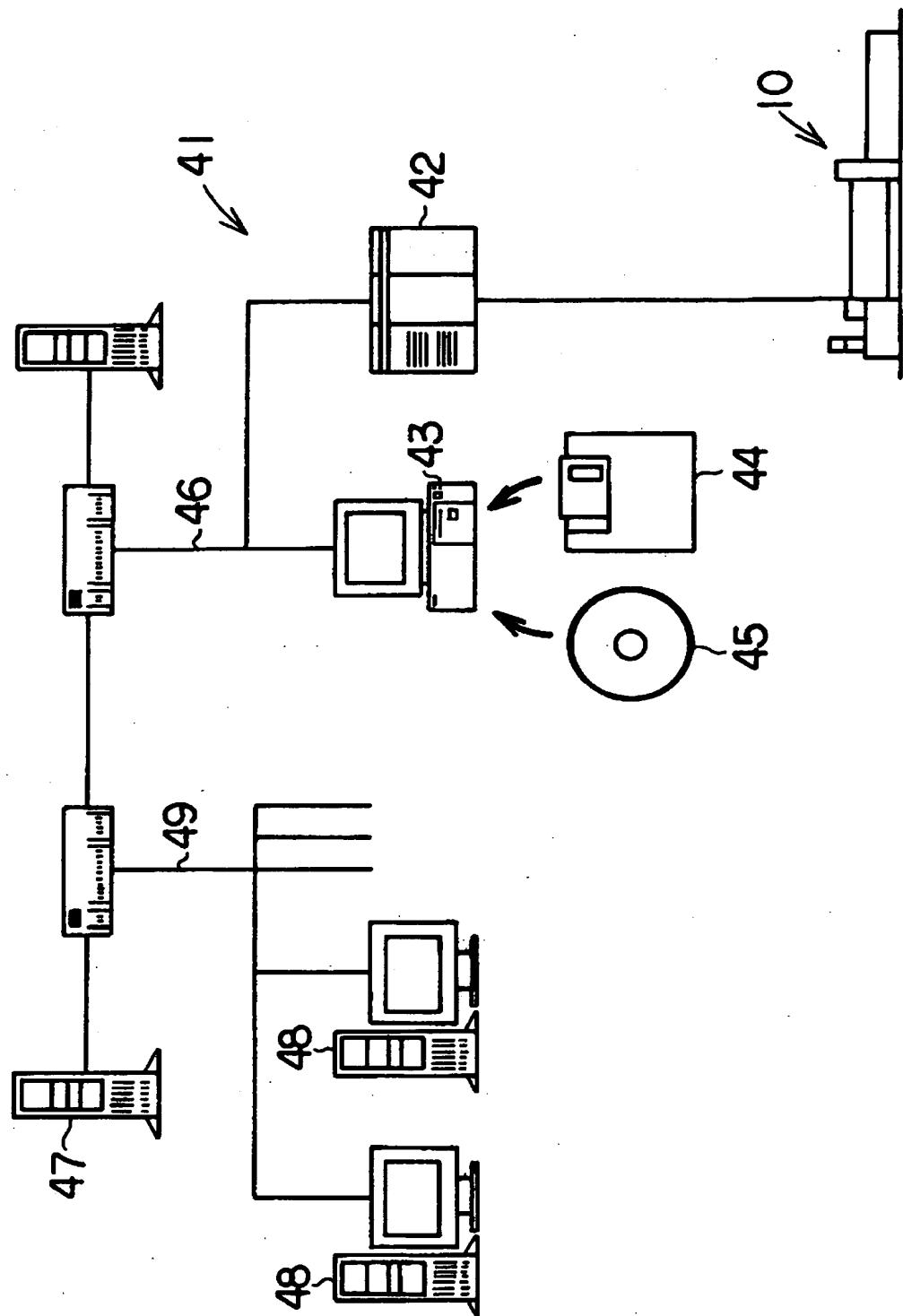
【図2】



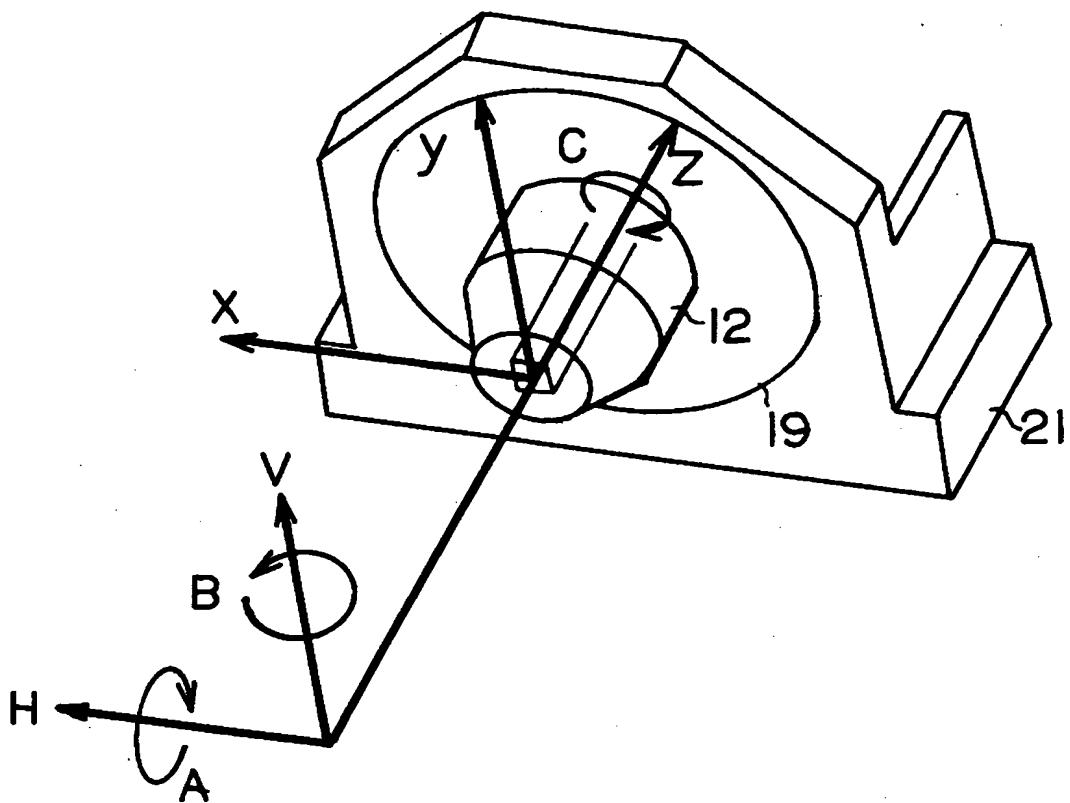
【図3】



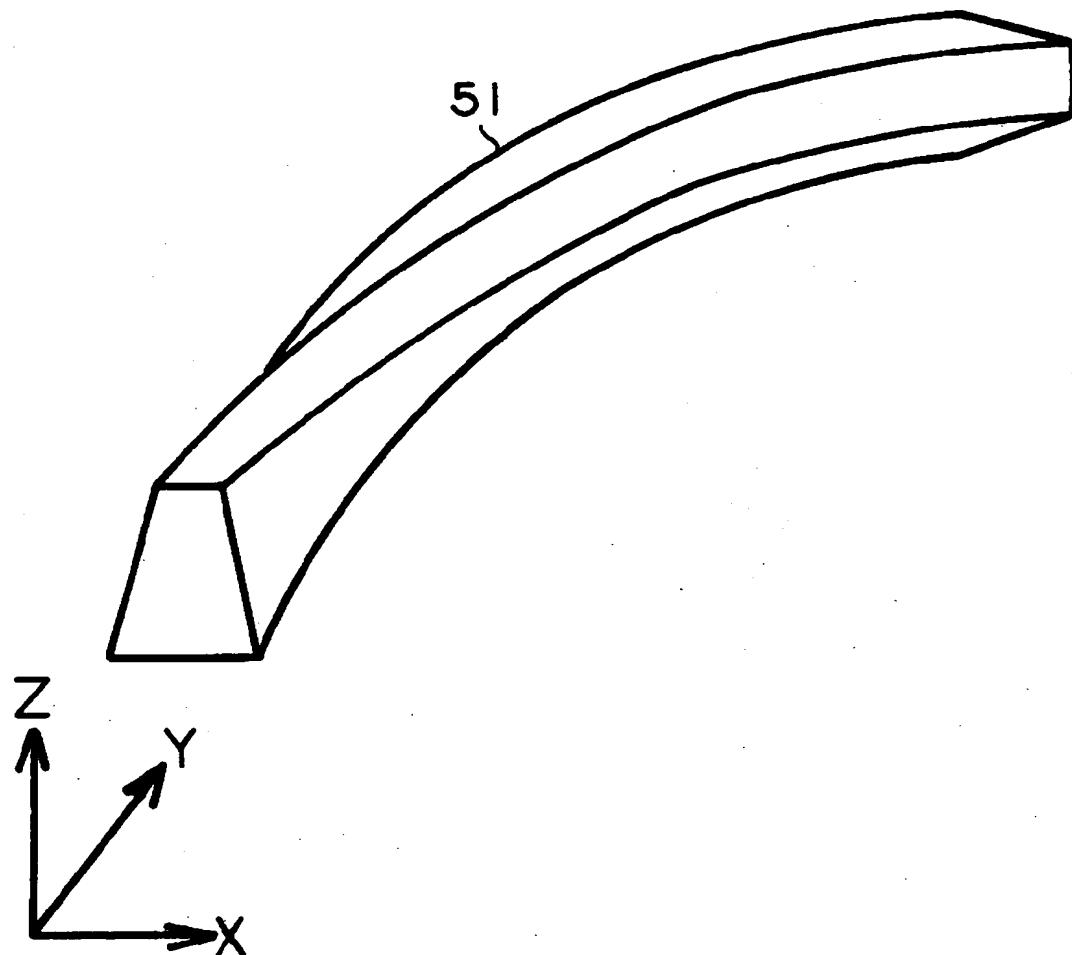
【図4】



【図5】



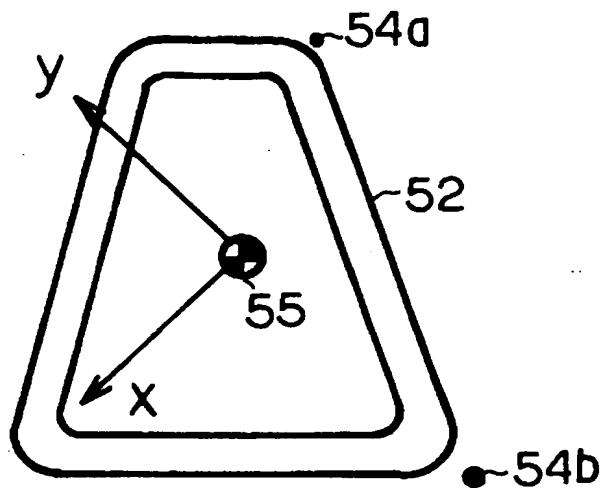
【図6】



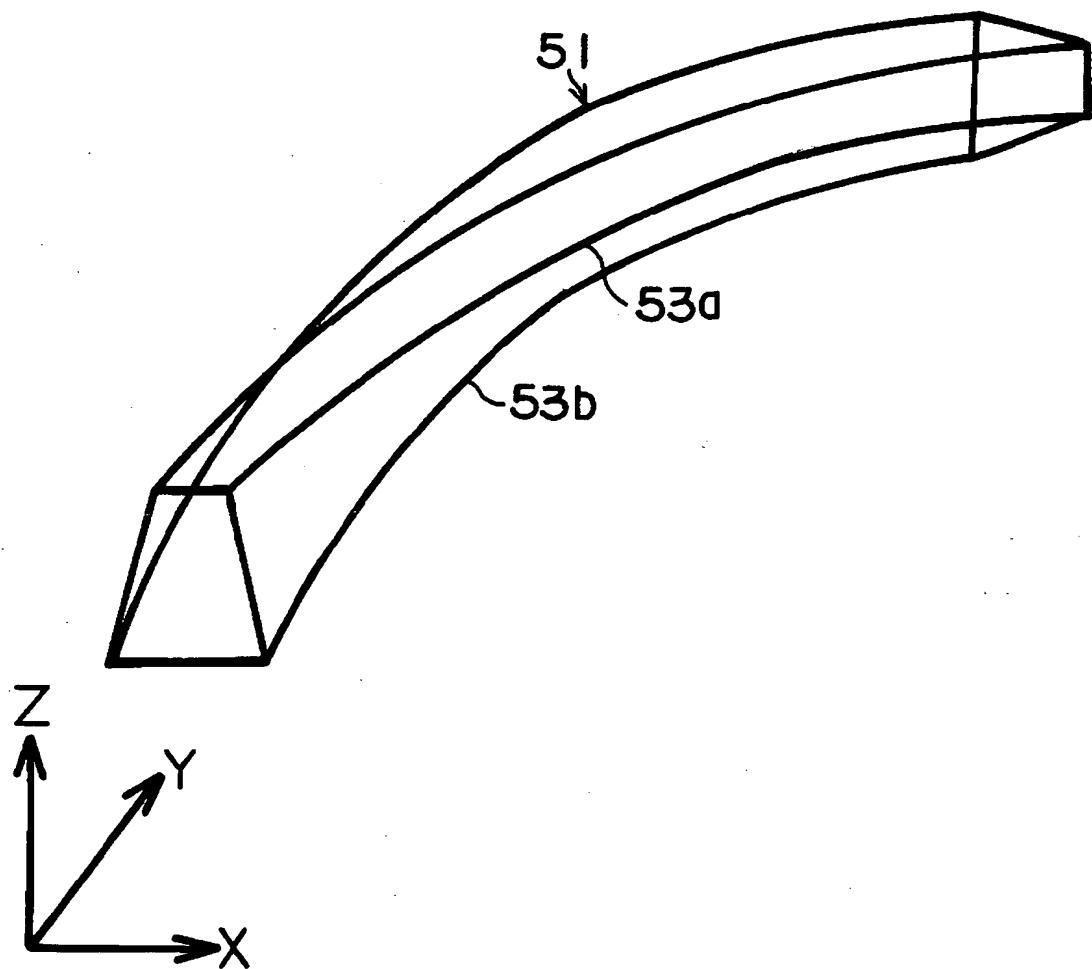
【図7】

N100	M12M10							
N120	G00	W-1293.000						
N140	G90G01	W-1423.000	F6000.000					
N150	G01	Z31.000	F6000.000					
N160	M35							
N170	M33							
N180	G90G01	U-18.000	F6000.000					
N1000	G90G01	X0.000	B0.000	Y0.446	A0.159	C0.000	W-1424.000	F6000.000
N1001	G90G01	X0.000	B0.000	Y4.409	A3.157	C0.000	W-1504.072	F6000.000
N1002	G90G01	X0.000	B0.000	Y7.376	A5.279	C0.000	W-1584.107	F6000.000
N1003	G90G01	X0.090	B-0.065	Y8.515	A8.092	C0.7091	W-1601.907	F6000.000
N1004	G90G01	X0.448	B-0.322	Y9.568	A8.844	C0.847	W-1619.706	F6000.000
N1005	G90G01	X0.675	B-0.485	Y10.353	A7.404	C1.001	W-1637.501	F6000.000
N1006	G90G01	X0.800	B-0.576	Y10.922	A7.910	C1.1897	W-1655.297	F6000.000
N1007	G90G01	X0.819	B-0.589	Y11.315	A8.090	C1.3517	W-1673.088	F6000.000
N1008	G90G01	X0.746	B-0.537	Y11.544	A8.253	C1.5281	W-1690.880	F6000.000
N1009	G90G01	X0.651	B-0.488	Y11.628	A8.314	C1.6744	W-1708.688	F6000.000
N1010	G90G01	X0.578	B-0.416	Y11.684	A8.339	C1.7752	W-1726.456	F6000.000
N1011	G90G01	X0.516	B-0.372	Y11.731	A8.387	C2.584	W-1744.242	F6000.000

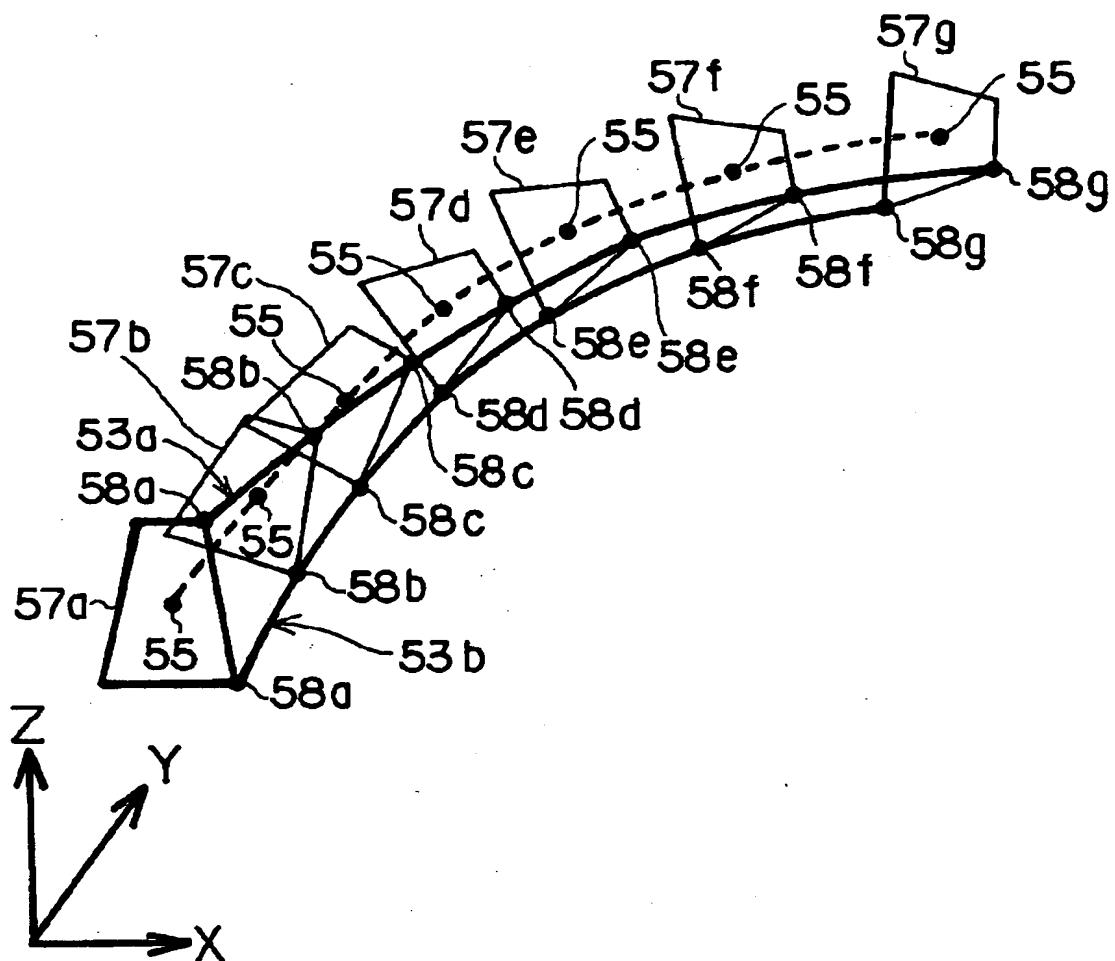
【図8】



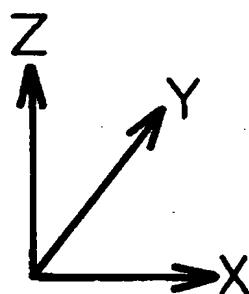
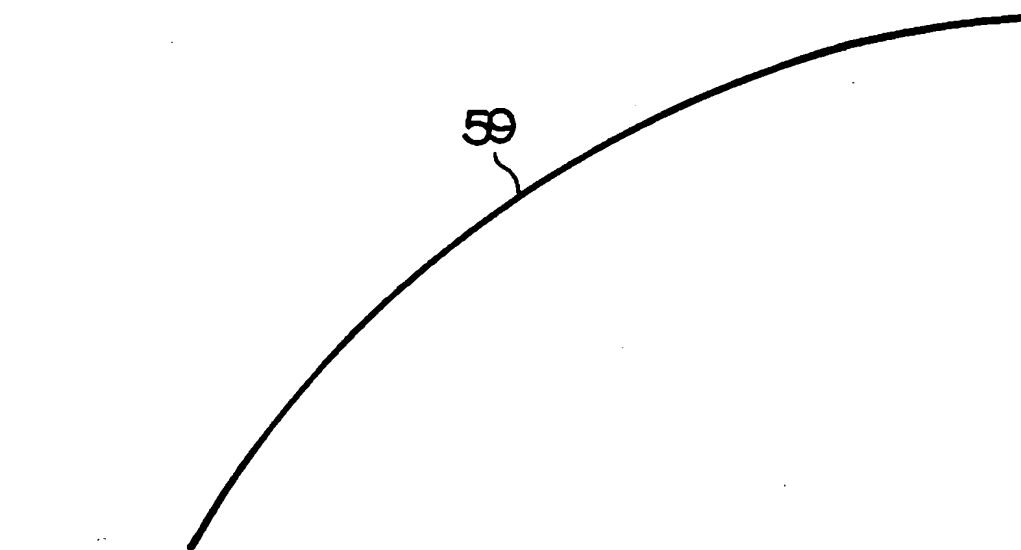
【図9】



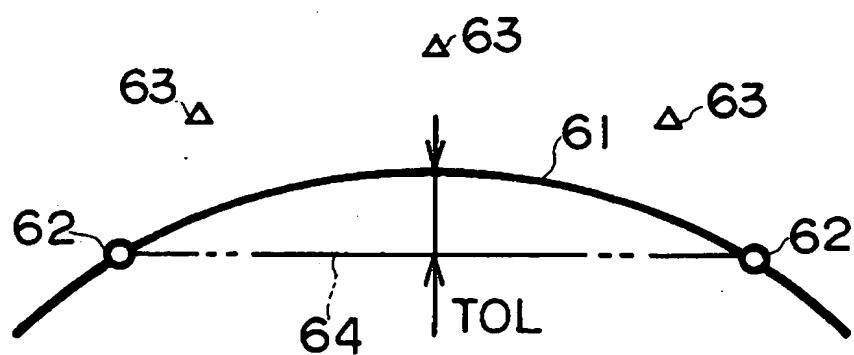
【図10】



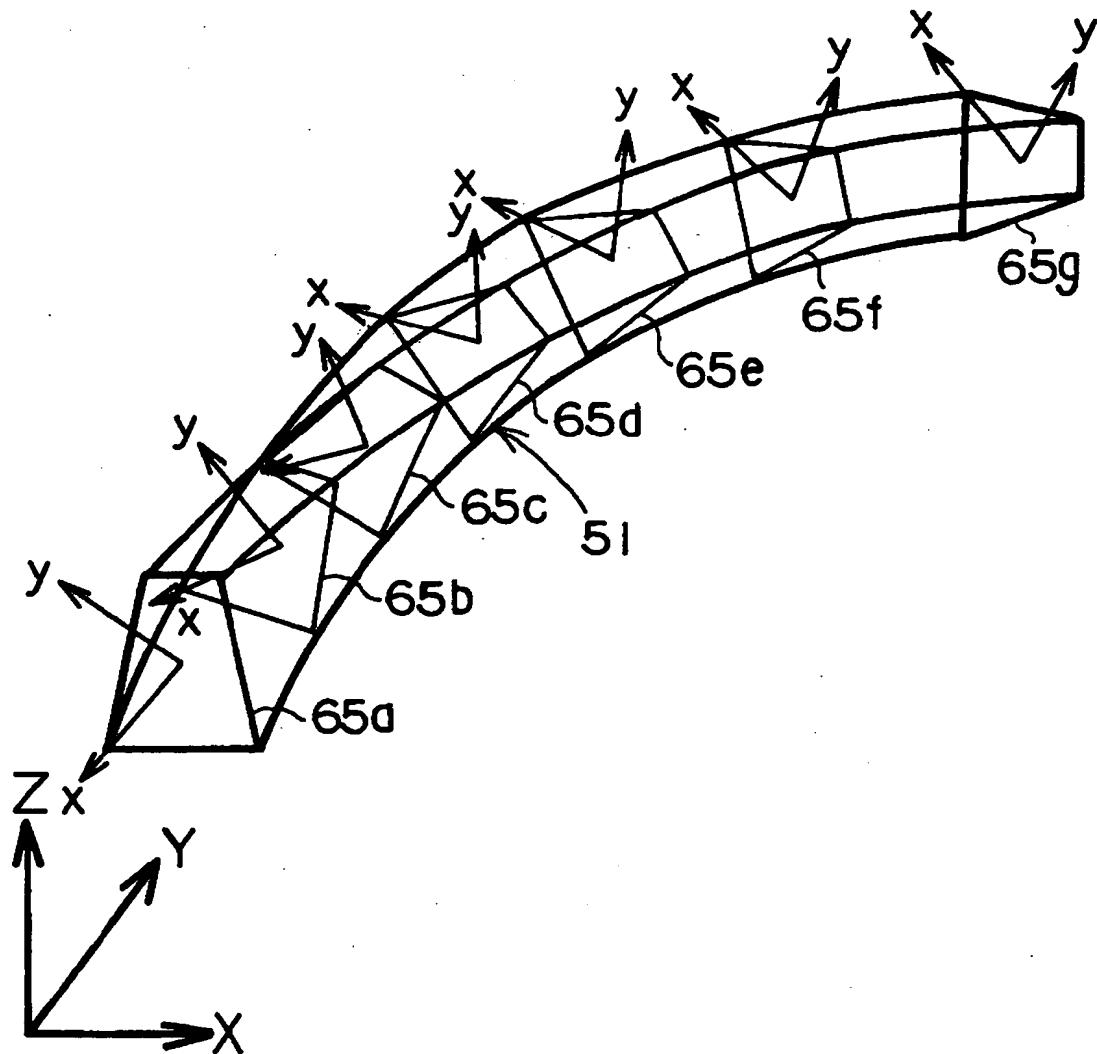
【図11】



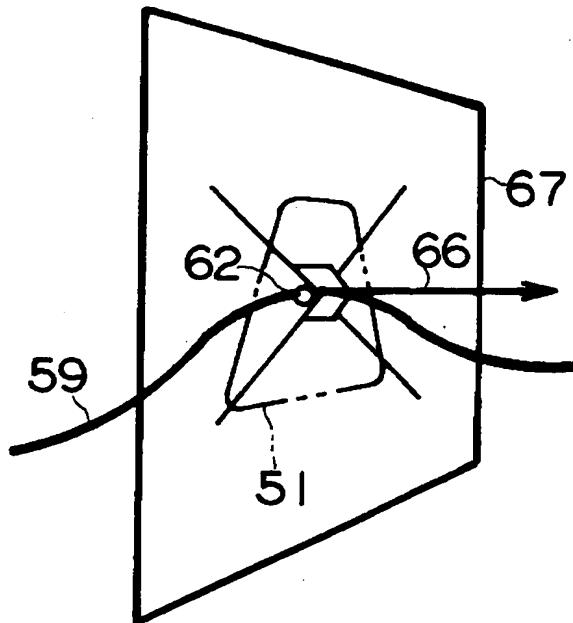
【図12】



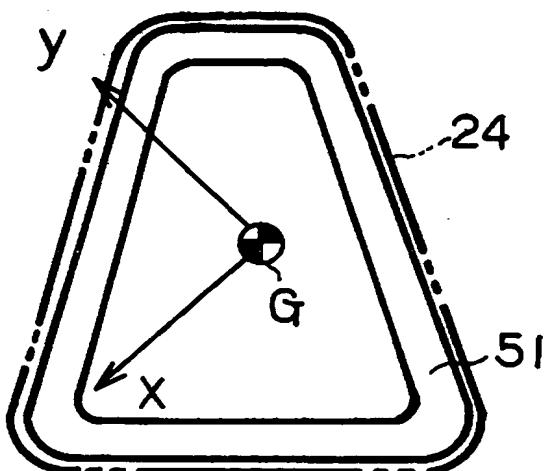
【図13】



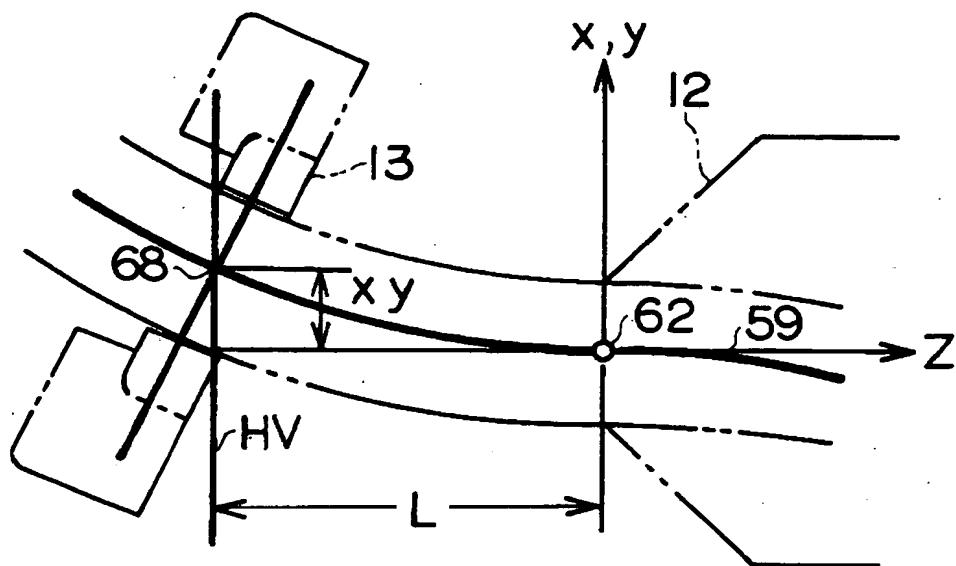
【図14】



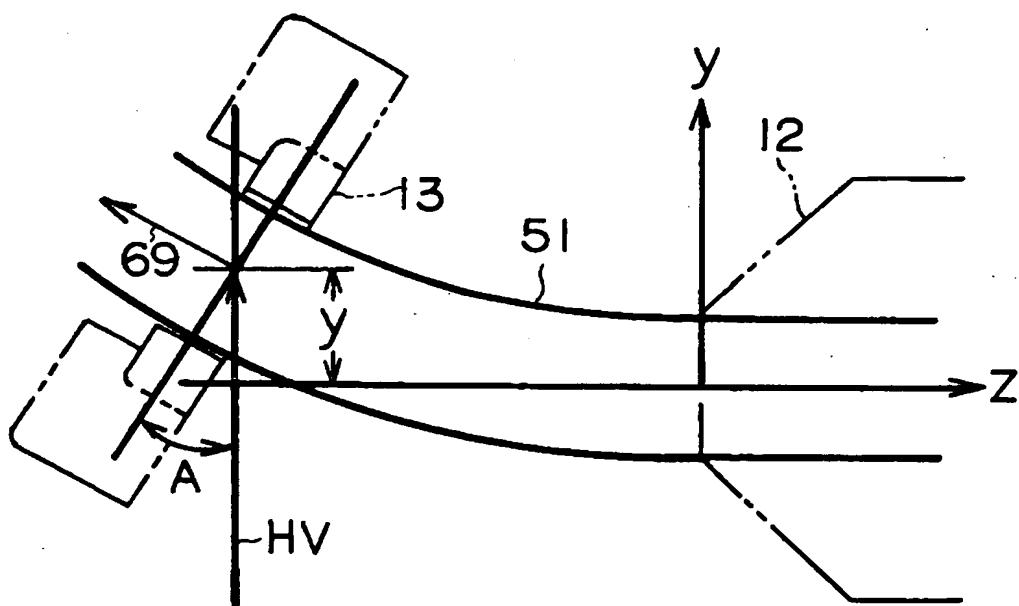
【図15】



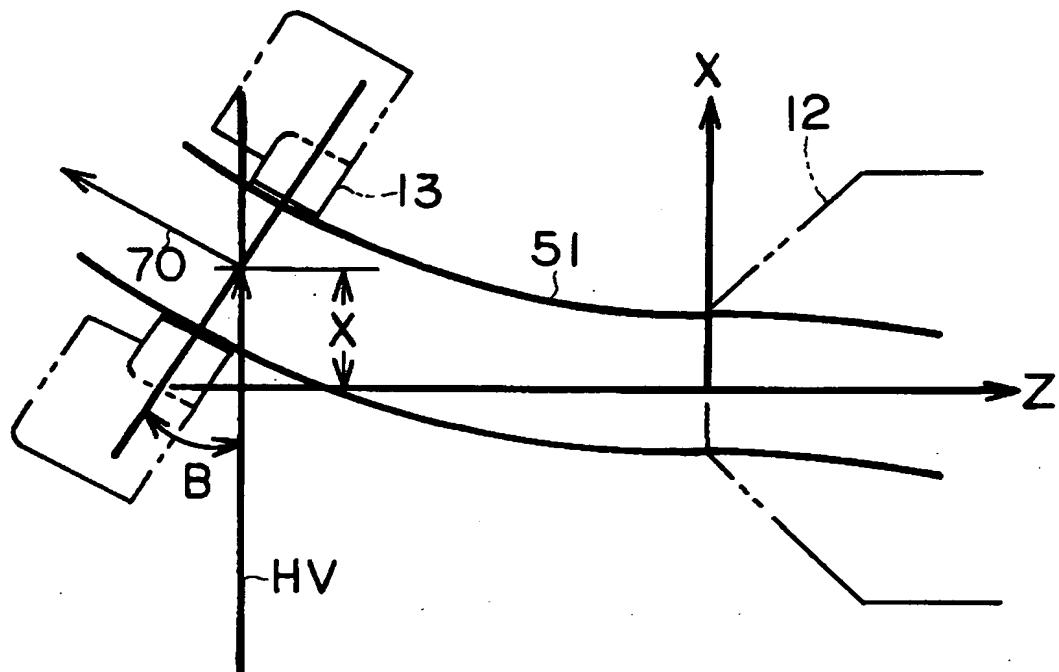
【図16】



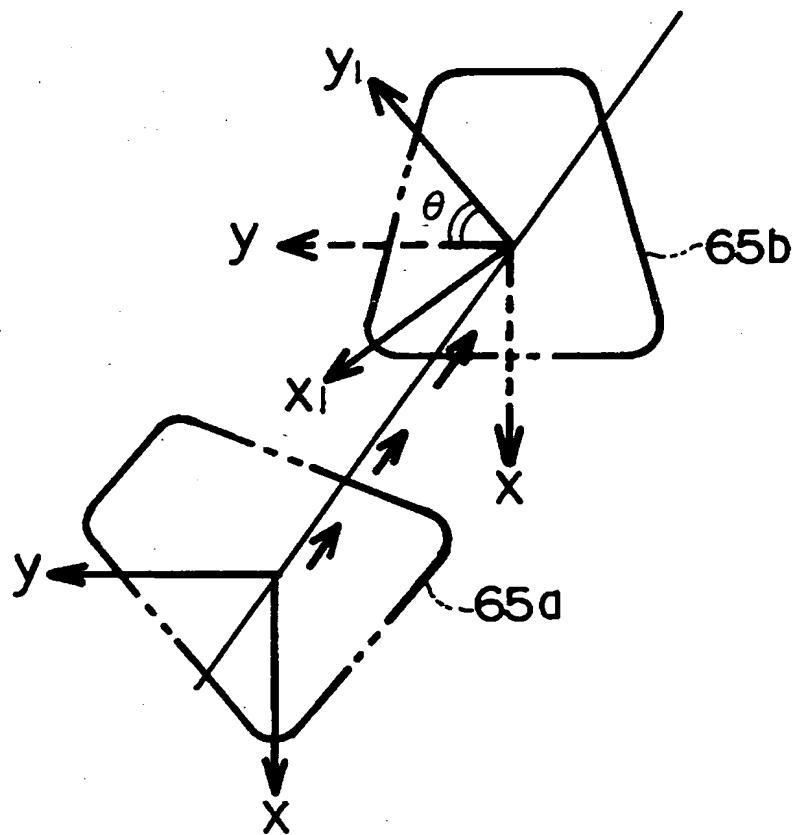
【図17】



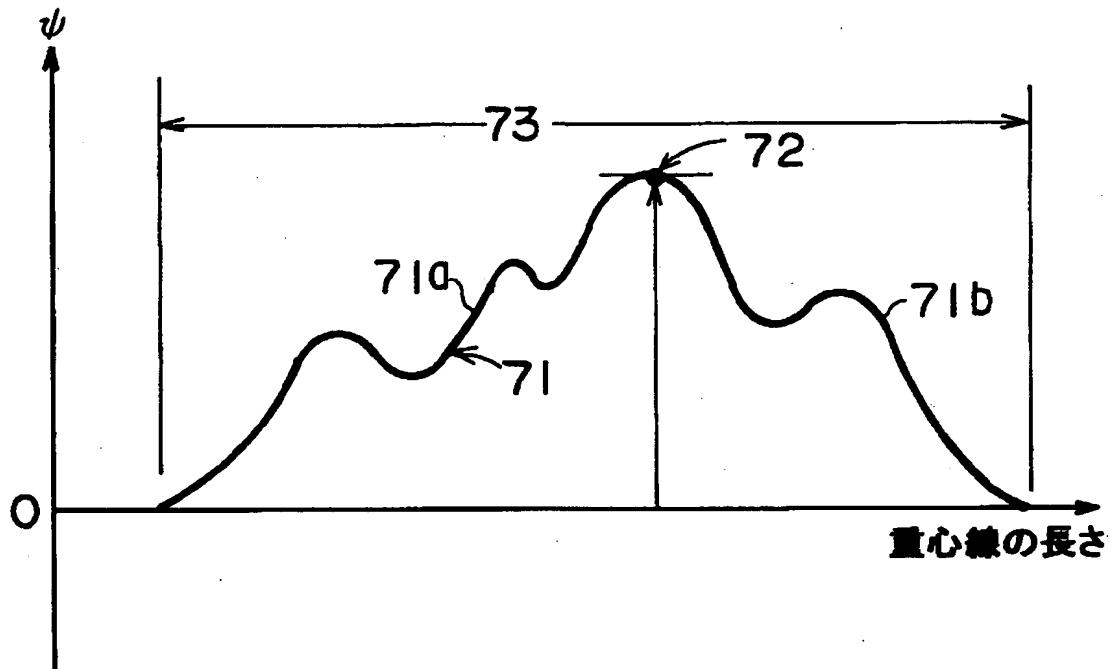
【図18】



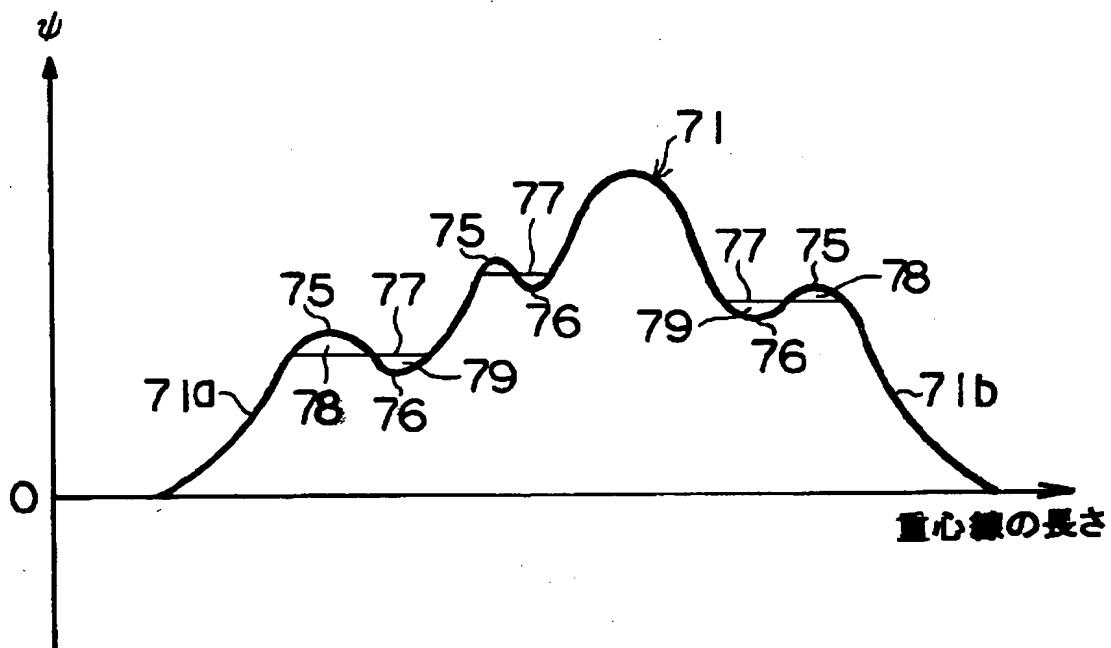
【図19】



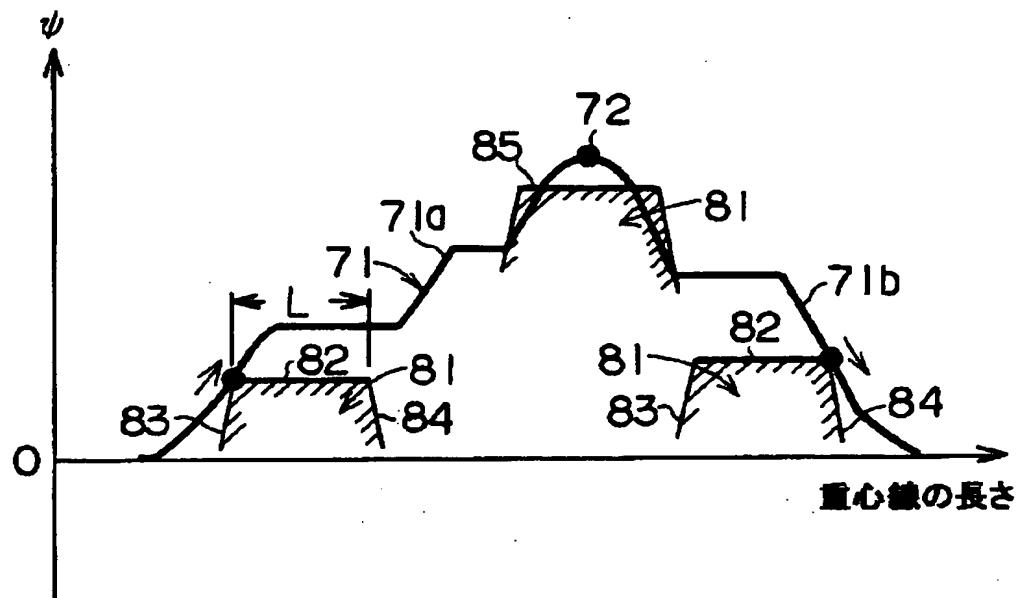
【図20】



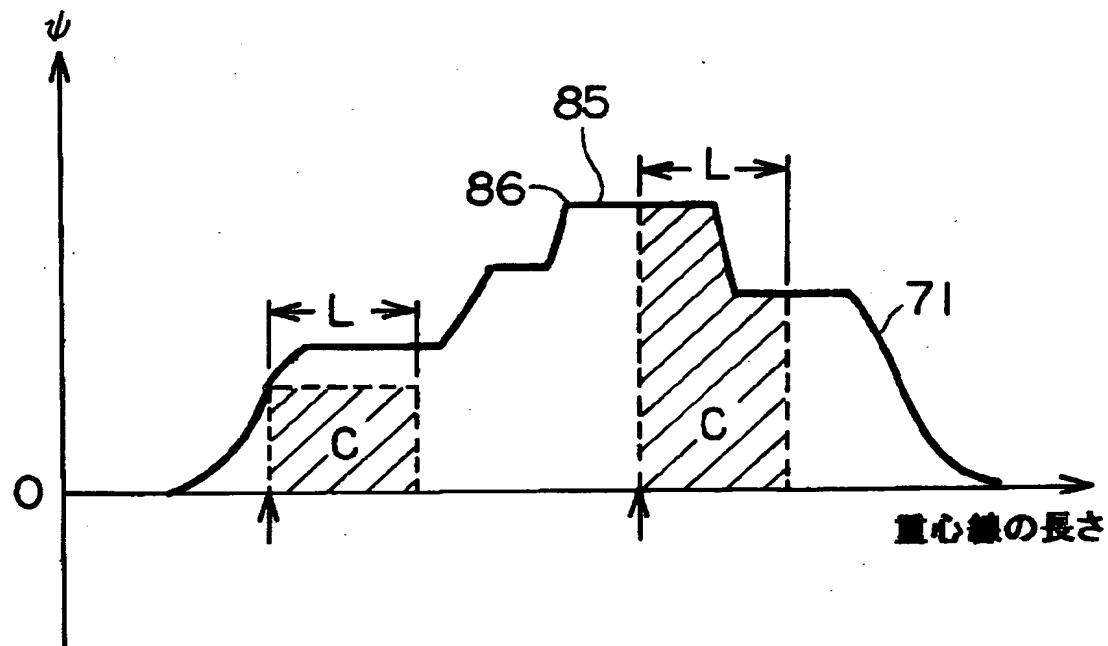
【図21】



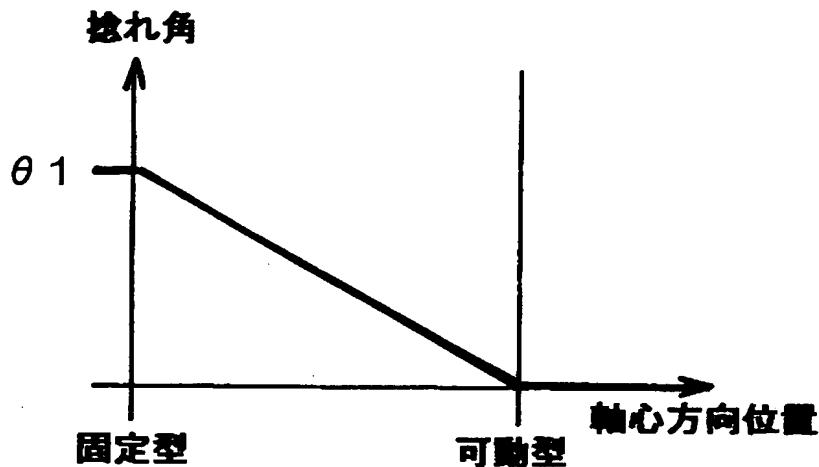
【図22】



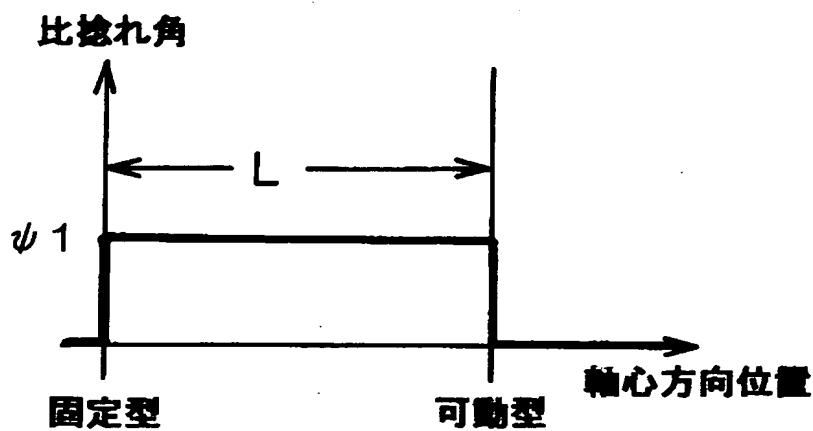
【図23】



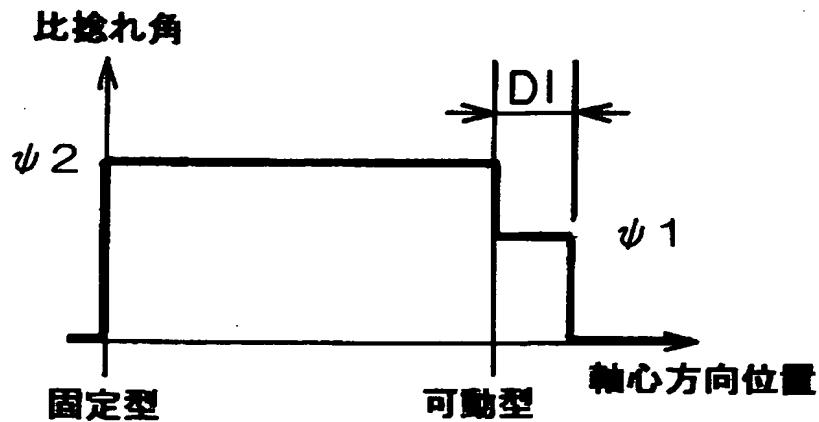
【図24】



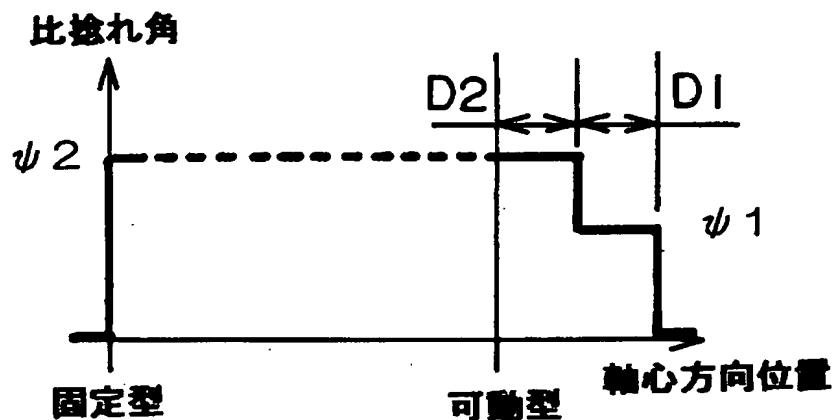
【図25】



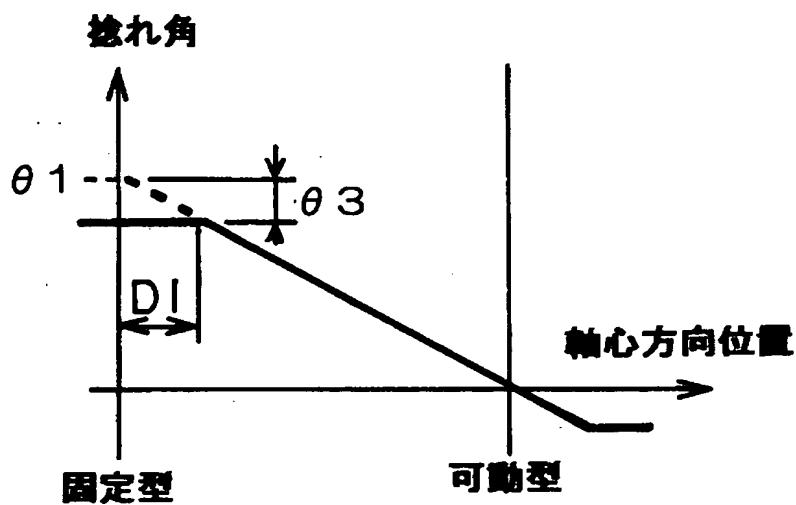
【図26】



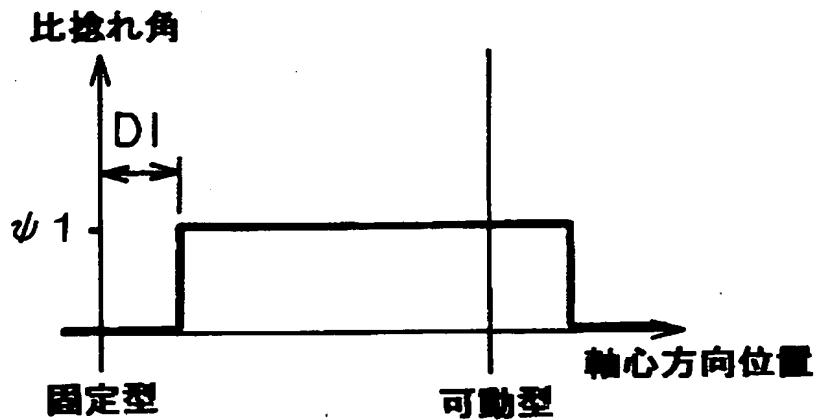
【図27】



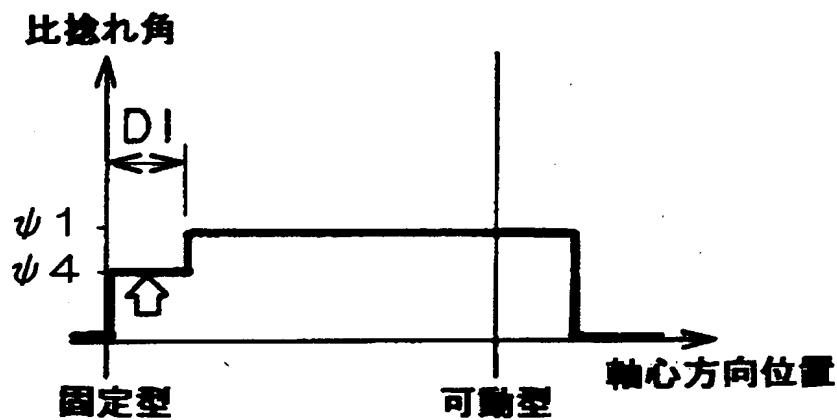
【図28】



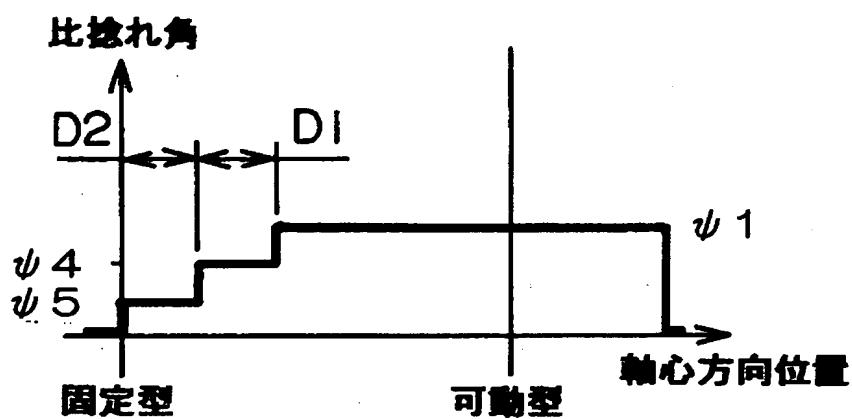
【図29】



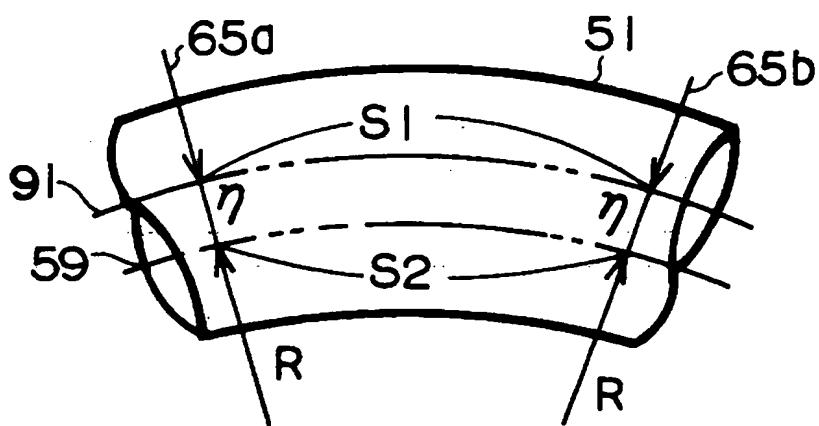
【図30】



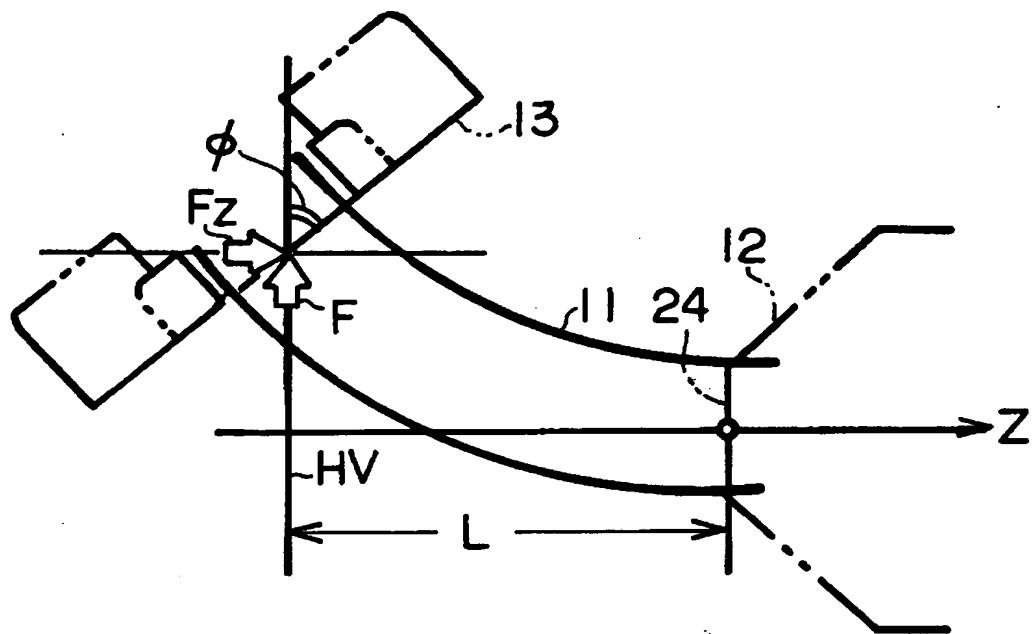
【図31】



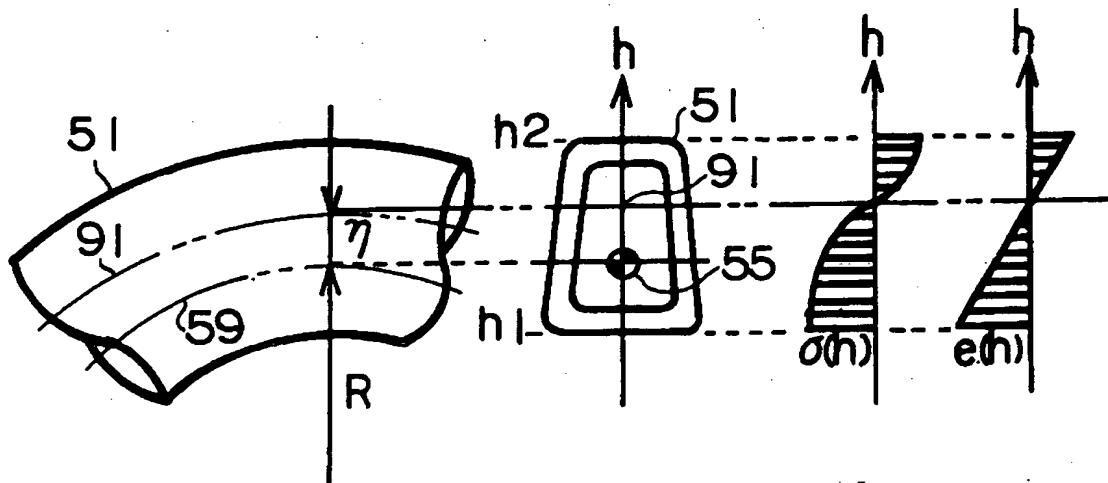
【図32】



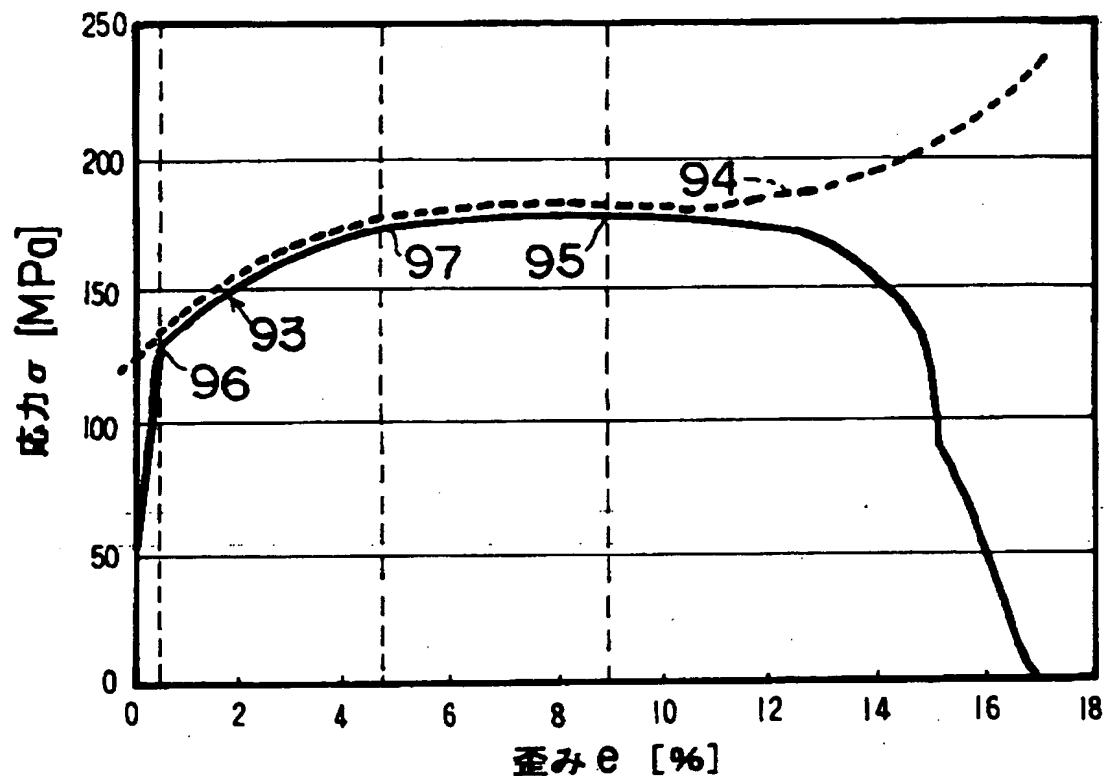
【図33】



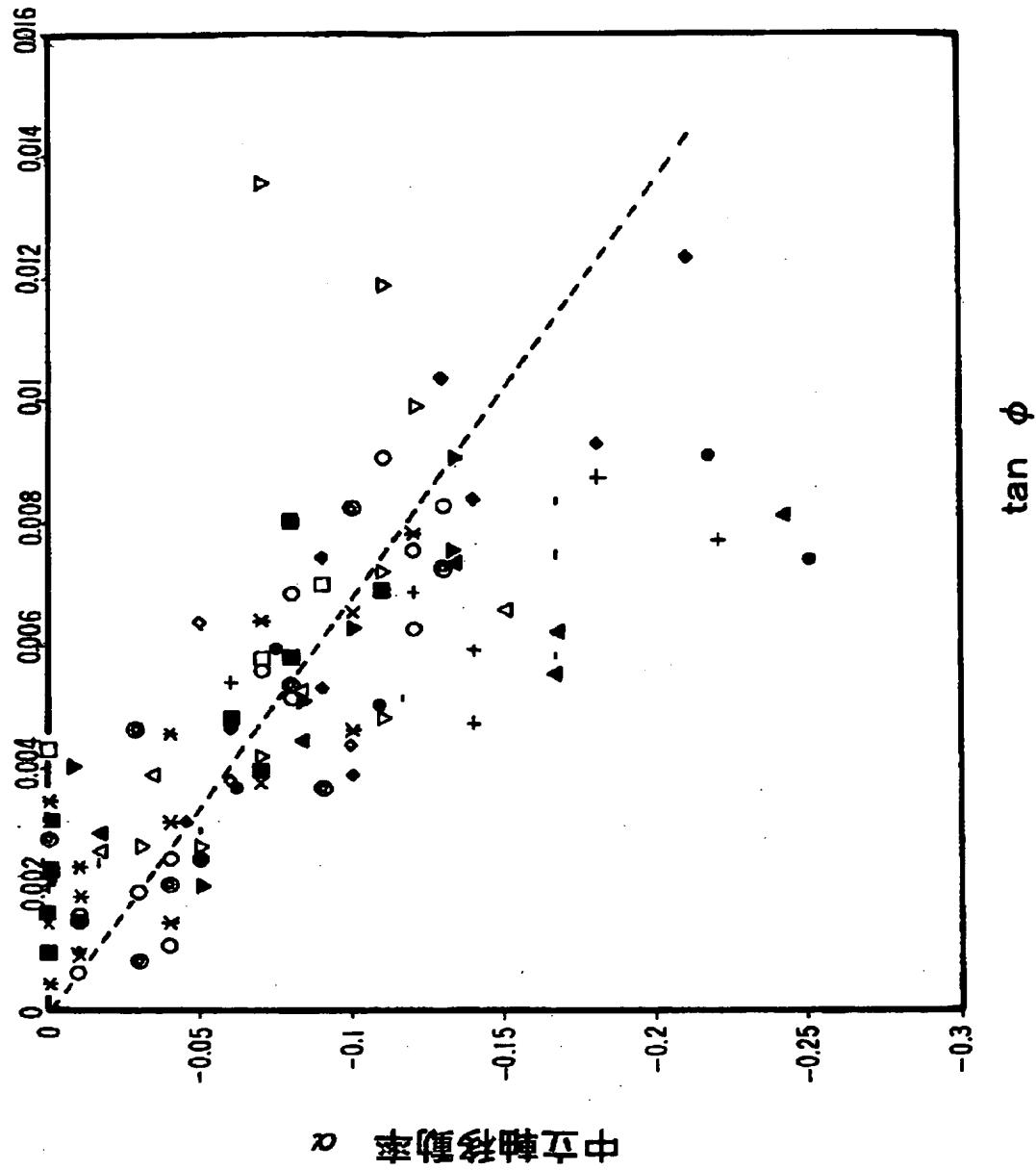
【図3-4】



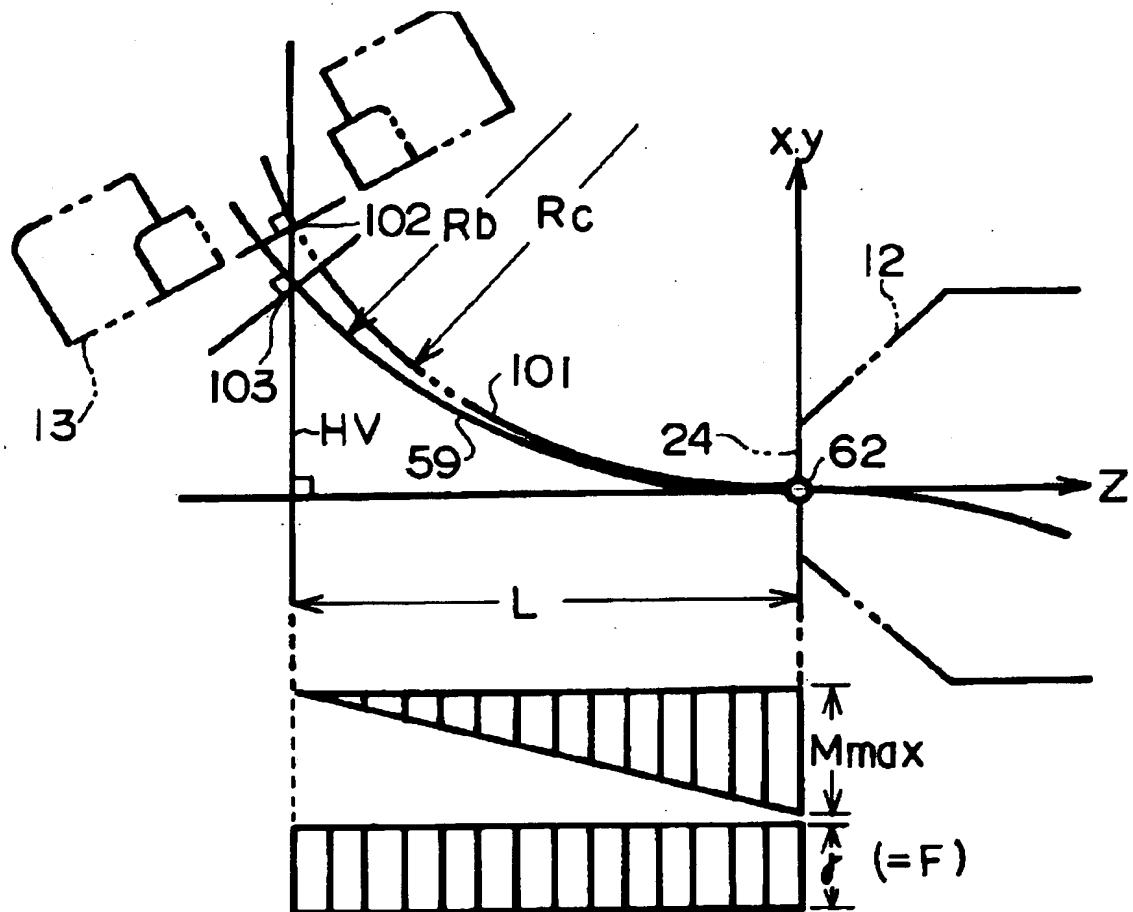
【図35】



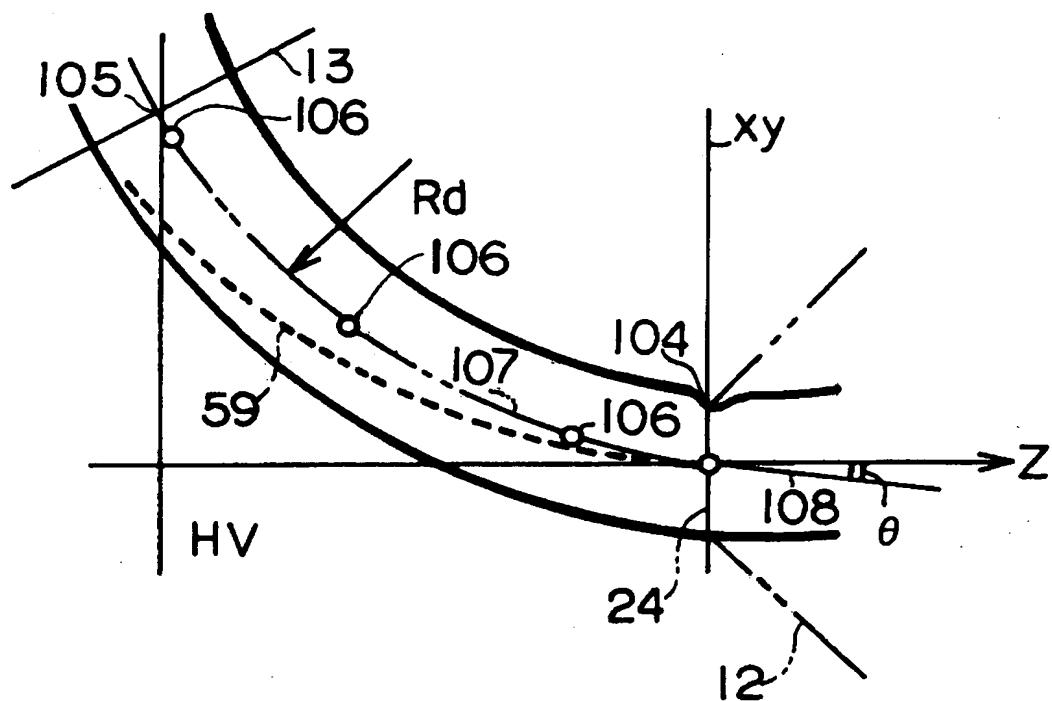
【図36】



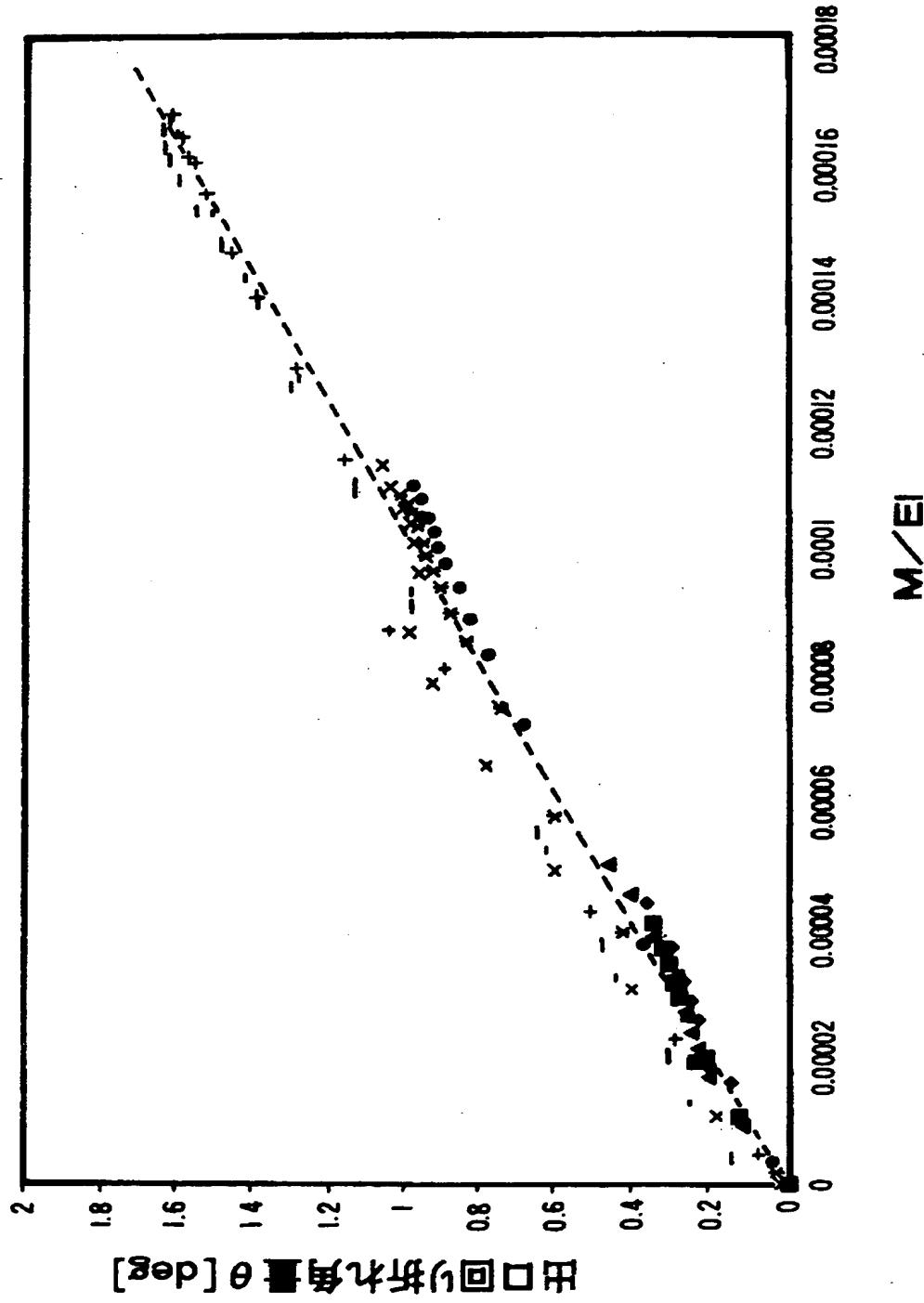
〔図37〕



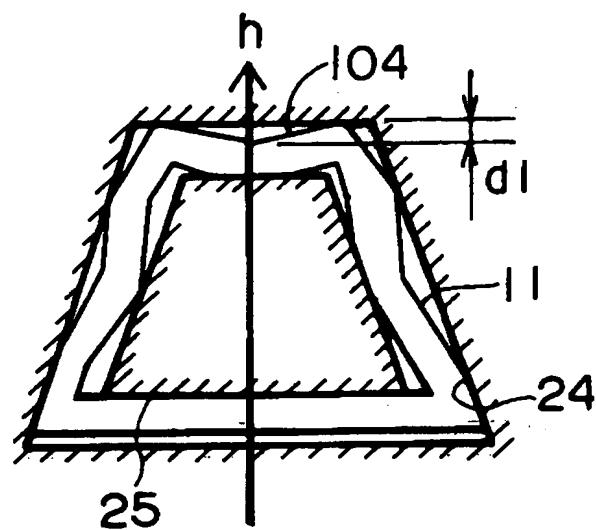
【図38】



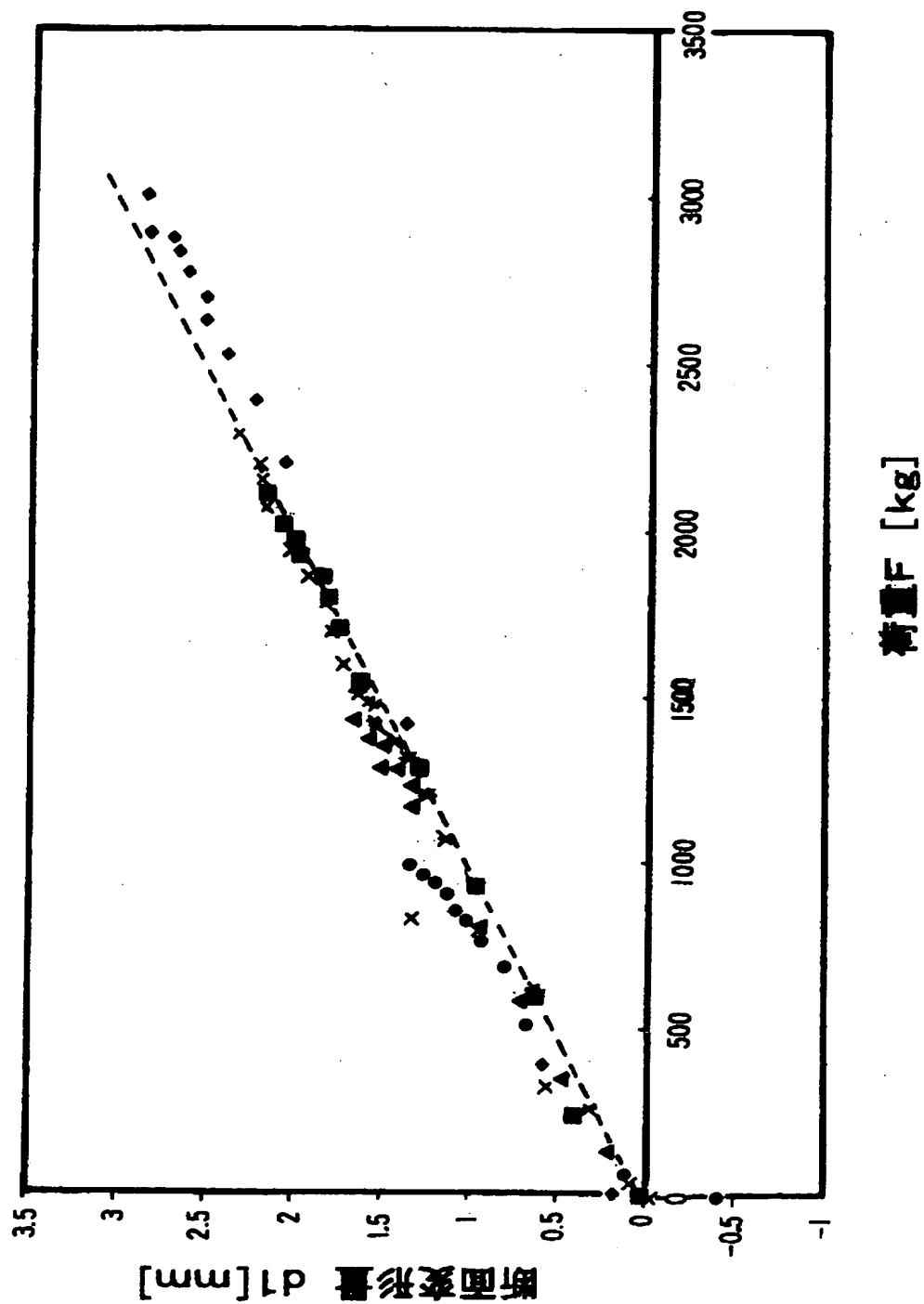
〔図39〕



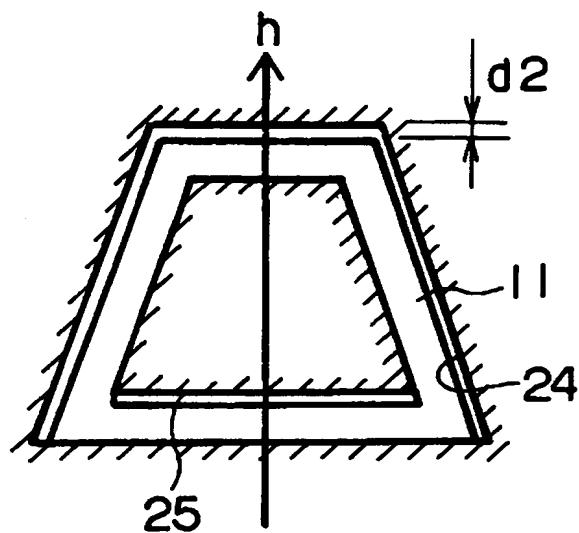
【図40】



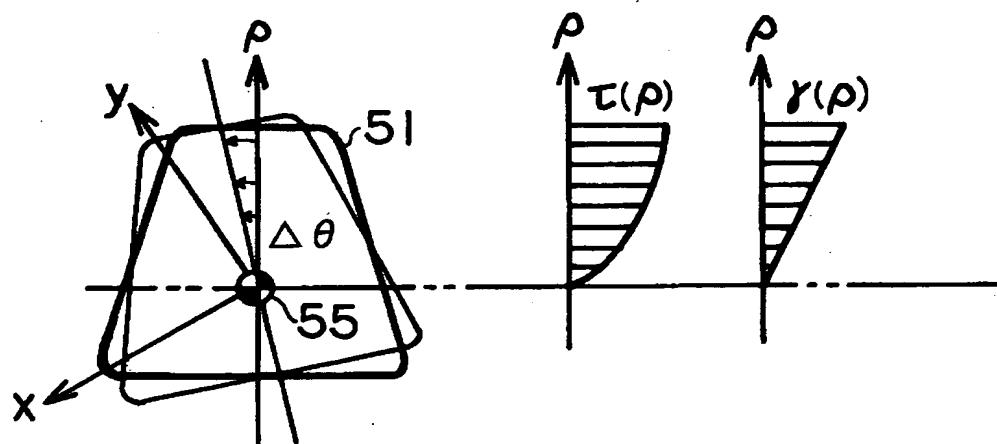
【図41】



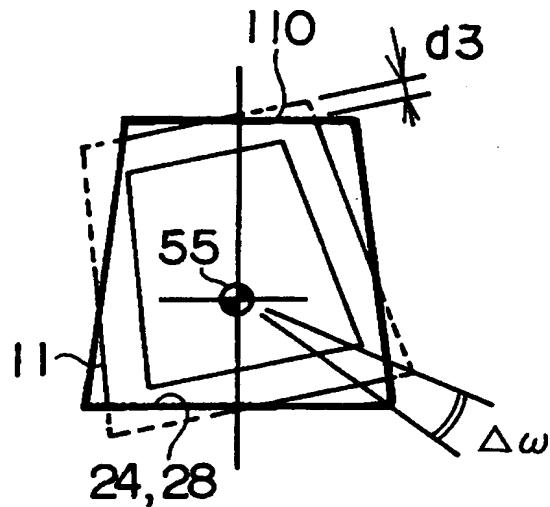
【図42】



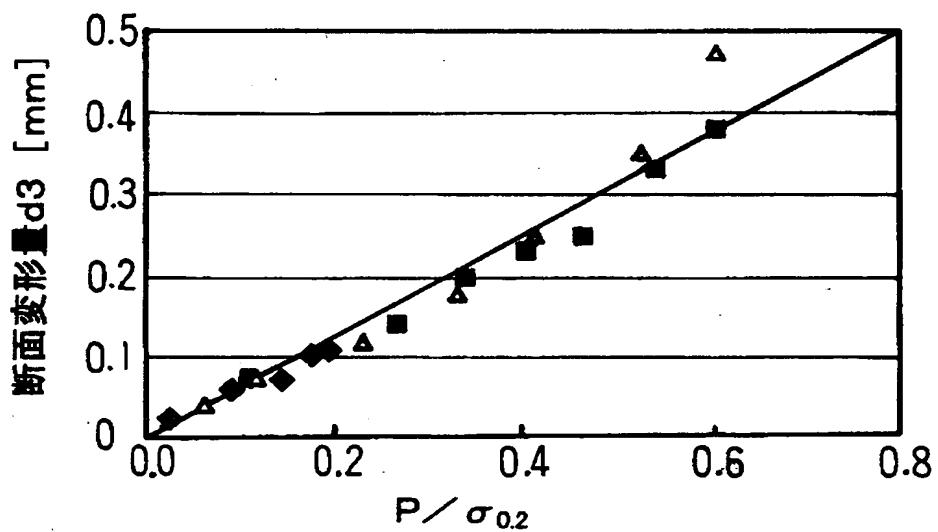
【図43】



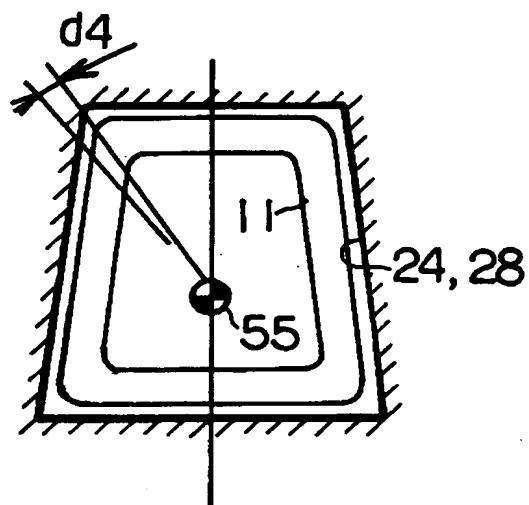
【図4-4】



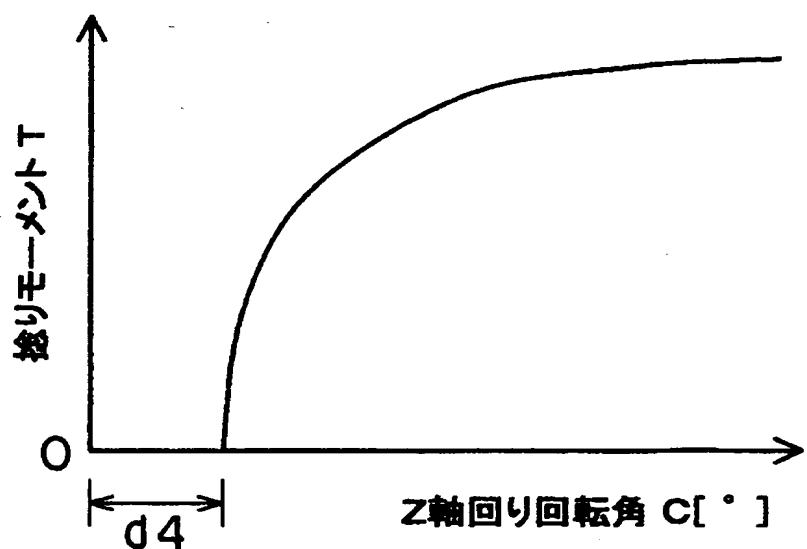
【図4-5】



【図46】



【図47】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 熟練した作業者の勘や経験則に頼らずに長尺材の軸心回りで相対回転する1対の型を用いて設計どおりに精度よく長尺材に捻り加工を施すことができる捻り加工用制御データ作成方法を提供する。

【解決手段】 長尺製品51の形状を表現する形状データで特定される長尺製品51の軸心回り捻れ角 $\Delta\theta$ に基づき、長尺材に加えられる捻りモーメントは算出される。算出された捻りモーメントに基づき、軸心回りで相対回転する第1および第2型の間で長尺材に引き起こされる弾塑性捻れ変形量は算出される。算出された弾塑性捻れ変形量は、形状データに基づき算出された軸心回り相対回転角に足し合わせられる。こうして弾塑性捻れ変形量に応じて第1および第2型の間で軸心回り実回転角が特定されれば、弾性復元力いわゆるスプリングバックに起因する長尺製品の形状誤差は十分に解消することができる。

【選択図】 図43

出願人履歴情報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名 本田技研工業株式会社